

Saulo Zanol Nogueira Garcia

**COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE TALUDES INFINITOS NA
GERAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
TRANSLACIONAIS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito para a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis
Higashi

Coorientadora: Carolina Ester Christ

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Garcia, Saulo Zanol Nogueira

Comparativo entre dois métodos de taludes infinitos na
geração de mapas de suscetibilidade a deslizamentos
translacionais / Saulo Zanol Nogueira Garcia ; orientador,
Rafael Augusto dos Reis Higashi, coorientador, Caroline
Ester Christ, 2018.

75 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Mapeamento Geotécnico. 3.
Método dos Taludes Infinitos. 4. Suscetibilidade a
movimentos de massa. 5. Borehole Shear Test. I. Higashi,
Rafael Augusto dos Reis. II. Christ, Caroline Ester. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. IV. Título.

Saulo Zanol Nogueira Garcia

**COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE TALUDES INFINITOS NA
GERAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
TRANSLACIONAIS**

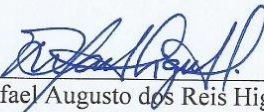
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Civil” e aprovado em sua forma final pelo curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, novembro de 2018.

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Gracieli Dienstmann Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Gisele Marilha Pereira Reginato, Me
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Luiz e Regina.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz e Regina, por todo amor e apoio a todo momento, mesmo estando tão longe. Vocês são tudo para mim.

À minha namorada, Gabriela Baú, por toda participação durante esse processo, por me ajudar nas horas difíceis e estar presente nas horas felizes.

Aos “Amigos do Chape”, pela amizade e parceria durante toda graduação.

À toda galera da ATEC, pelos eventos realizados e campeonatos disputados.

Ao meu orientador, Professor Rafael Higashi, por todo auxílio, orientação e motivação relativos a este trabalho e assistências durante o futebol do meio de semana.

À minha coorientadora, Caroline Christ, por toda ajuda nos ensaios e acerca do *ArcGIS*.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

RESUMO

Os deslizamentos translacionais são responsáveis por danos severos à sociedade. Assim, formas de evitar ou prever tais movimentos se tornam importantes para a segurança da população. O presente estudo possui como objetivo gerar o mapeamento das áreas de suscetibilidade a deslizamentos translacionais em parte da área central de Florianópolis/SC. Para a elaboração desse mapa foi necessária a realização de ensaios de resistência ao cisalhamento dos solos para a obtenção de seus parâmetros (coesão e ângulo de atrito interno). O *Borehole Shear Test*, ensaio adotado no trabalho, se mostrou de rápida e fácil execução, gerando dados imprescindíveis para a elaboração dos mapas. No presente trabalho, optou-se por realizar o ensaio BST apenas nas unidades geotécnicas que apresentavam inclinação, não sendo avaliadas as unidades de relevo plano. Nas áreas de baixa declividade, efetuou-se somente a tradagem para observação da composição do solo. Foram comparadas duas equações que definem Fator de Segurança pelo método dos taludes infinitos, sendo a diferença principal entre elas a consideração da percolação da água. Para a criação de diferentes cenários, variou-se a profundidade de ruptura de 1 até 5 metros. Com o auxílio do *software ArcGIS 10.5*, foram gerados mapas que identificam locais em áreas de: alta suscetibilidade, média-alta suscetibilidade, média-baixa suscetibilidade e baixa suscetibilidade.

Palavras-chave: Deslizamentos translacionais. Método dos Taludes Infinitos. *Borehole Shear Test*.

ABSTRACT

Translational landslides are responsible for severe damage to Society. Therefore, ways to avoid and predict such movements become important to population safety. This study has as its main goal to generate the mapping of the areas with translational landslide susceptibility in parts of the central Florianópolis. To elaborate this mapping, it was needed to conduct shear strength tests to obtain the parameters of the soil. The *Borehole Shear Test* was used in the study, and it proved to be quick and easy to execute, generating essential data for the preparation of the maps. In this study, BST was used only on the inclined geotechnical units, not being evaluated the flat units. On the low slope areas, only digging was done for observation of the soil composition. There were compared two equations that determine the Safety Factor by the infinite slope method, being the main difference between them the consideration of water percolation. To create different scenarios the depth of rupture was measured from 1 to 5 meters. The maps were generated on the software ArcGIS 10.5 to identify locations in areas of: high susceptibility, medium high susceptibility, medium low susceptibility and low susceptibility.

Keywords: Translational landslides. Infinite slope method. *Borehole Shear Test*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Talude de Corte/Aterro	17
Figura 2 – Rastejo.....	19
Figura 3 - Corrida de Terra.....	20
Figura 4 - Queda de bloco	21
Figura 5 - Tombamento	21
Figura 6 - Escorregamentos/deslizamentos	22
Figura 7 - Ensaio cisalhamento direto	26
Figura 8 - Curva tensão-deformação	27
Figura 9 - Envoltória de ruptura	27
Figura 10 - Equipamento - BST	28
Figura 11 - BST - Sonda Expansiva.....	29
Figura 12 - Geometria adotada, método de Taylor (1948).....	30
Figura 13 - Método das fatias.....	31
Figura 14- Sequência da utilização dos ábacos de Hoek e Bray	32
Figura 15 - Forças atuantes	33
Figura 16 - Polígonos das forças	33
Figura 17 – Forças que atuam em uma fatia sem percolação.....	34
Figura 18 - Forças que atuam em uma fatia com percolação	35
Figura 19 - Recorte da área de estudo	37
Figura 20 - Mapeamento Geotécnico - Florianópolis	40
Figura 21 - Deslizamento em Itajaí	41
Figura 22 – Deslizamento começo de 2018 na Vila Aparecida, região continental de Florianópolis.....	42
Figura 23 - Fluxograma das etapas do estudo	43
Figura 24 - Abertura do furo com o trado	44
Figura 25 - Inundação do furo	45
Figura 26 - Equipamento devidamente montado	45
Figura 27 - Rotação da manivela.....	46
Figura 28 - Gráfico tensão normal x tensão cisalhante	47
Figura 29 - Mapa geotécnico da área de estudo	50
Figura 30 - Mapa de elevações da área de estudo	51

Figura 31 - Envoltória de Mohr-Coulomb Furo 1	53
Figura 32 - Envoltória de Mohr-Coulomb Furo 2	55
Figura 33 - Mapa de declividades	57
Figura 34 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 1m	
- Sem percolação da água	58
Figura 35 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 2m	
- Sem percolação da água	59
Figura 36 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 3m	
- Sem percolação da água	60
Figura 37 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 4m	
- Sem percolação da água	61
Figura 38 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 5m	
- Sem percolação da água	62
Figura 39 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 1m	
- Com percolação da água	63
Figura 40 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 2m	
- Com percolação da água	64
Figura 41 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 3m	
- Com percolação da água	65
Figura 42 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 4m	
- Com percolação da água	66
Figura 43 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 5m	
- Com percolação da água	67
Figura 44 – Comparação das áreas de suscetibilidade com o aumento da profundidade	
– Sem percolação da água	68
Figura 45 - Comparação das áreas de suscetibilidade com o aumento da profundidade	
– Com percolação da água.....	69
Figura 46 - Comparação das áreas de suscetibilidade da unidade Cgi – Com percolação da água.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Movimentos de Massa.....	18
Tabela 2 - Classificação do aumento da tensão cisalhante.....	24
Tabela 3 - Classificação da redução da resistência ao cisalhamento	24
Tabela 4 - Talude infinito sob diferentes condições.....	36
Tabela 5: Características climáticas da região de Florianópolis	38
Tabela 6 - Crescimento da população de Florianópolis	39
Tabela 7 - Classificação dos fatores de segurança	49
Tabela 8 - Peso específico da unidade geotécnica do furo 1	52
Tabela 9 - Resultado do ensaio BST no furo 1.....	53
Tabela 10 - Peso específico da unidade geotécnica do furo 2.....	54
Tabela 11 - Resultado do ensaio BST no furo 2.....	54
Tabela 12 - Resultados de coesão e atrito	56
Tabela 13 - Alteração da instabilidade - Sem percolação da água.....	68
Tabela 14 - Alteração da instabilidade - Com percolação da água	69
Tabela 15 - Alteração da instabilidade - unidade Cgi - Com percolação da água	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BST – *Borehole Shear Test*

c – Coesão

ϕ – Ângulo de Atrito

β – Inclinação do talude

H – Profundidade

γ - Peso específico

Cgi - Cambissolo de substrato ilha

Cde - Cambissolo de substrato depósito de encosta

AQsq - Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários

Gsq – Glei de substrato sedimento quaternário

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

CD – Ensaio Cisalhamento Direto

SIG – Sistema de Informações Geográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CPT – Cone Penetration Test

VST - Vane Shear Test

ASTM – American Society for Testing and Materials

FS – Fator de Segurança

IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	TALUDES.....	17
2.2	MOVIMENTOS DE MASSA.....	17
2.2.1	Escoamento	18
2.2.1.1	Rastejo.....	18
2.2.1.2	Corridas	19
2.2.2	Queda de Blocos.....	20
2.2.3	Tombamento	21
2.2.4	Escorregamento	22
2.2.4.1	Escorregamentos rotacionais.....	22
2.2.4.2	Escorregamentos translacionais	23
2.3	CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS	23
2.4	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA	25
2.4.1	Definição.....	25
2.4.2	Ensaio para a determinação dos parâmetros de resistência	25
2.4.2.1	Ensaio de Cisalhamento Direto	26
2.4.2.2	<i>Borehole Shear Test</i> (BST)	27
2.5	EQUAÇÕES QUE DETERMINAM OS FATORES DE SEGURANÇA.....	29
2.5.1	Ruptura Circular.....	30
2.5.1.1	Método de Taylor (1948)	30
2.5.1.2	Método das Fatias.....	31
2.5.1.3	Método de Hoek e Bray (1974).....	31

2.5.2	Ruptura Planar.....	32
2.5.2.1	Método de Culmann (1866)	32
2.5.2.2	Método dos Taludes Infinitos.....	34
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
3.1	CLIMA	38
3.2	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	38
3.3	GEOTECNIA	39
3.4	MOVIMENTOS TRANSLACIONAIS EM SANTA CATARINA	41
4	MÉTODO.....	43
4.1	OBTENÇÃO E LEVANTAMENTO DOS DADOS	44
4.1.1	<i>Borehole Shear Test</i>	Erro! Indicador não definido.
4.2	DEFINIÇÃO DOS FATORES DE SEGURANÇA.....	48
4.3	GERAÇÃO DOS MAPAS	48
4.3.1	Utilização do Software <i>ArcGIS 10.5</i>.....	49
5	RESULTADOS E ANÁLISE	50
5.1	MAPA GEOTÉCNICO	50
5.2	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA	51
5.2.1	Furo 1.....	52
5.2.2	Furo 2.....	54
5.3	MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS ..	57
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	72
6.1	CONCLUSÕES.....	72
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Muitas são as situações em que são utilizadas técnicas de geotecnia para ter um conhecimento da estabilidade de encostas de uma região. Essas técnicas ajudam na prevenção de deslizamentos, informando, assim, se a área em questão encontra-se segura quanto à movimentação de massa.

Inapropriada ocupação do solo, processos de desmatamentos, mudanças do curso d'água e chuvas em excesso são alguns dos fatores que aumentam a suscetibilidade a movimentos de massa. Por isso, para a prevenção de desastres naturais, a produção de mapas de suscetibilidade a deslizamentos é de grande importância, a fim de evitar a ocupação populacional em áreas indevidas.

Assim sendo, é importante determinar quais áreas apresentam a possibilidade de ocorrência do problema de movimentos de massa, possibilitando assim o auxílio e orientação aos órgãos públicos, resultando em melhorias na segurança e no bem-estar da população. Costuma-se observar ainda que os moradores que mais sofrem com os movimentos de massa são os de edificações pequenas, normalmente ocupadas pela população menos favorecida, que ocupa essas áreas sem o conhecimento do risco, devido, na maioria dos casos, a falta de opções.

Em Santa Catarina, a elevada ocorrência de picos pluviométricos torna ainda mais significativa a geração de mapas de suscetibilidade, para proporcionar medidas de prevenção nessas áreas.

Para a criação desses mapas foi fundamental a disponibilidade do mapeamento geotécnico da ilha de Santa Catarina realizado por Santos (1997) e posteriormente atualizado e desenvolvido por Christ (2014). Os parâmetros de resistência foram outros fatores necessários para o desenvolvimento desses mapas, e o *Borehole Shear Test* (BST) mostrou muita eficiência na produção de resultados para a coesão (c) e o ângulo de atrito interno (ϕ).

Em relação à classificação dos fatores de segurança, seguiu-se as recomendações da NBR 11682 (1991). Essa norma cita o controle de estabilidade de taludes em solo, abrangendo também, as condições para projeto, execução, controle e conservação de obras de estabilidade.

O presente trabalho abordará o movimento de massa do tipo deslizamento. Os deslizamentos podem ser classificados em dois tipos: rotacionais e translacionais. Nos translacionais a camada de solo desliza sobre uma superfície aproximadamente paralela ao talude. Enquanto que no rotacional a superfície de ruptura desliza sobre uma superfície curva.

Existem vários métodos para o cálculo do fator de segurança para os movimentos de massa, tanto o rotacional, Método das Lamelas e Método de Fellenius, quanto o translacional, Método dos Taludes Infinitos e Método de Culmann.

Desta forma, o presente trabalho abordará a suscetibilidade de deslocamentos translacionais, comparando duas equações do Método dos Taludes Infinitos. Objetiva-se integralizar dados que podem viabilizar um conhecimento mais ágil e eficiente de uma elevação central de Florianópolis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar dois mapas de suscetibilidade a movimentos de massa translacionais, gerados com base no método dos taludes infinitos com percolação de água e sem percolação de água.

1.1.2 Objetivos Específicos

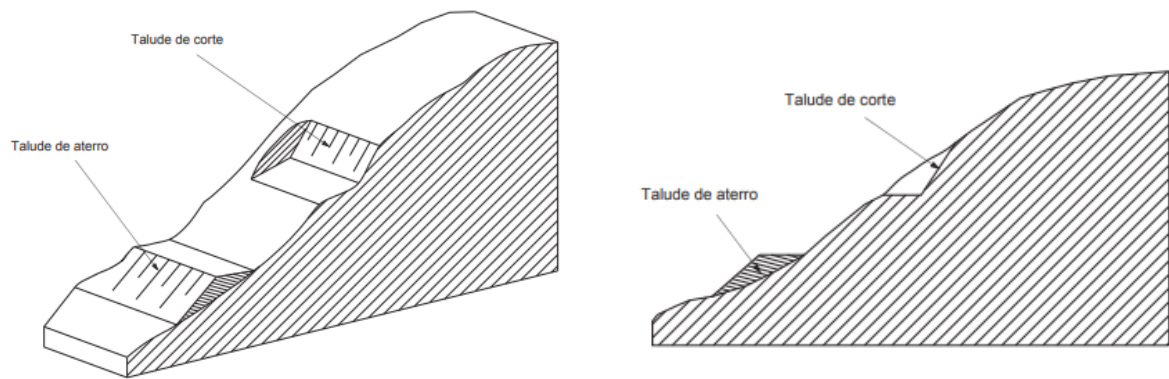
- Apresentar um estudo bibliográfico sobre os tipos de ruptura, à suscetibilidade a movimentos de massa e seu mapeamento geotécnico;
- Caracterizar a área de estudo quanto ao clima, relevo, geologia e pedologia para identificar suas características;
- Utilizar o *Borehole Shear Test* como ferramenta para a obtenção de parâmetros de resistência que serão utilizados;
- Comparar resultados de diferentes métodos de verificação de movimentos translacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TALUDES

Talude pode ser definido como uma superfície de solo que forma um ângulo com a superfície horizontal. Podem ter origem, como mostra a Figura 1, de forma natural ou de forma artificial (corte e aterro).

Figura 1 - Talude de Corte/Aterro



Fonte: ABNT (2009)

O estudo da execução de taludes sempre foi de grande importância dentro da área de geotecnia e da construção civil, visto que analisa diversos fatores, como, condições hidrostáticas, esforços internos e externos, características mecânicas das camadas envolvidas, geometria e limitações das escavações na área de ocupação da obra e também a economia e segurança (QUEIROZ, 2009).

Nesta pesquisa, serão abordados os aspectos que dizem respeito aos taludes de encostas, onde os movimentos de massa translacionais assumem grande importância.

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa se referem à descida de solo e/ou rocha ou uma composição solo+rocha sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água. Esse tipo de movimento afeta diretamente grande parte das obras de engenharia civil, como barragens, estradas, edificações, além dos taludes.

Terzaghi (1925) define que o movimento de massa dependem, principalmente, da sua resistência interna ao escorregamento. Ou seja, os escorregamentos de taludes são causados por

uma redução da resistência interna do solo que se opõe ao movimento da massa deslizante ou por acréscimo das solicitações externas aplicadas ao maciço. A ABNT (2009) dividiu, resumidamente, os movimentos de massa em: escoamentos, escorregamentos, quedas de blocos e tombamentos, como pode se ver na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipos de Movimentos de Massa

Tipos de Movimentos de Massa	Definição
Queda/ Rolamento	Desprendimento de fragmentos do terreno, de qualquer tamanho, que caem de certa altura, em queda livre ou com qualquer outra trajetória e tipo de movimento
Tombamento	Movimento de massa em forma de balsa com eixo na base
Escorregamento	Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies
Escoamento	Movimento de massa com propriedades de fluido, lento (rastejo) ou rápido (corrida)

Fonte: ABNT (2009)

2.2.1 Escoamento

Escoamento, pode ser definido como deformações ou movimentos contínuos de solos em uma superfície. Pode ser subdividido, ainda, dependendo da sua velocidade de ocorrência, sendo lentos (rastejo) e rápidos (corridas).

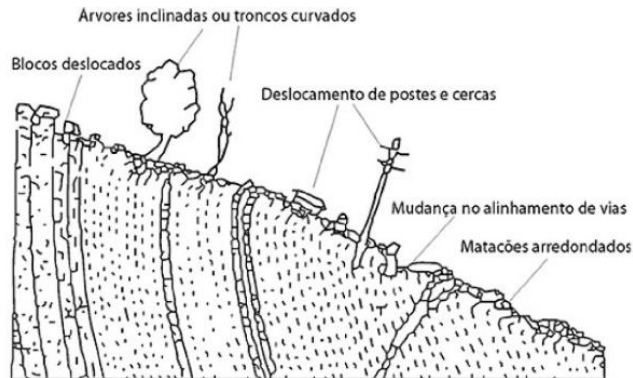
2.2.1.1 Rastejo

O processo de rastejo consiste em um movimento descendente, lento e contínuo de massa de solo de um talude, caracterizando uma deformação plástica, sem geometria e superfície de ruptura definidas.

A ocorrência de rastejo pode ser identificada através da observação de indícios indiretos, tais como: encurvamento de árvores, postes e cercas, fraturamento da superfície do solo e de pavimentos, além do “embarrigamento” de muros de arrimo (INFANTI JUNIOR e

FORNASARI FILHO, 1998). A Figura 2 mostra esquematicamente algumas consequências da ocorrência do rastejo.

Figura 2 – Rastejo



Fonte: Sharpe, 1938 *apud* Guidicini e Nieble, 1983, p. 20

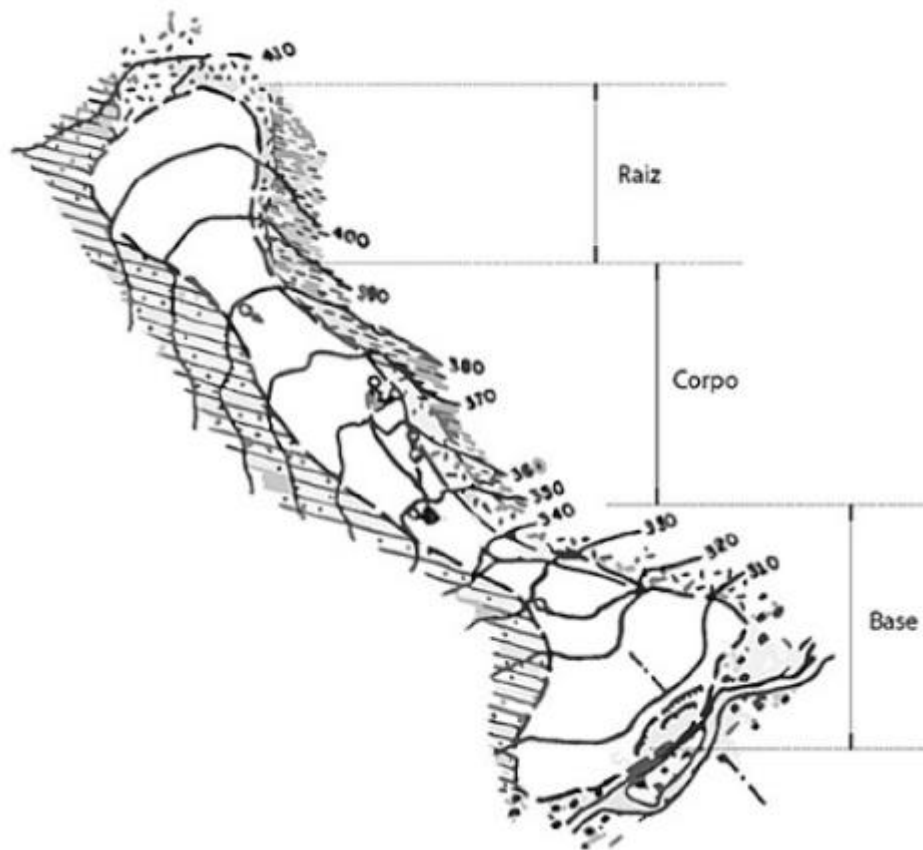
Além da continuidade e da lentidão, o rastejo se diferencia do escorregamento por uma diferença no mecanismo de deformação. Nos escorregamentos, o mecanismo de deformação do terreno é o de um sólido que tenha atingido, ao longo da superfície de movimentação, a respectiva tensão de cedência ao cisalhamento. O rastejo, se assemelha ao de um líquido muito viscoso, com as tensões sofrendo fluência menor que no cisalhamento (GUIDICINI e NIEBLE, 1983).

2.2.1.2 Corridas

Diferente do rastejo, as corridas são movimentos de massas rápidos, envolvendo grandes volumes de materiais e extenso raio de alcance, apresentando, assim, um alto potencial destrutivo. Em relação à sua forma, podendo ser observado também na Figura 3, considera-se:

A forma da corrida assemelha-se a uma língua, na qual se distinguem três elementos: a região de montante, denominada raiz, concentra o material que se deslocará; a parte central, alongada, denomina-se corpo; e a área de acumulação final do material transportado, denominada base, normalmente se localiza na região mais baixa do vale (GERSCOVICH, 2016, p. 19).

Figura 3 - Corrida de Terra



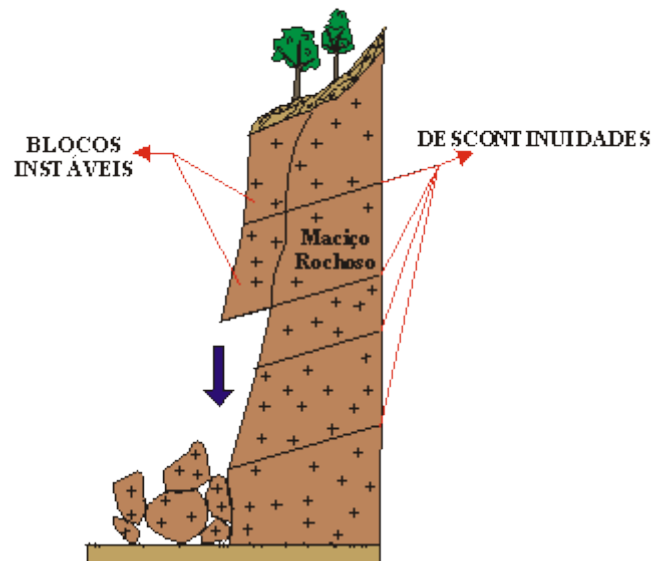
Fonte: Zaruba e Mencl, 1969 *apud* Guidicini e Nieble, 1983, p. 22

Esses tipos de movimentos são ocasionados, em sua grande maioria, pela presença da água em excesso. Essa influência de água aumenta a poropressão e diminui o atrito, fazendo o solo perder totalmente a consistência e fluir como um líquido viscoso. As corridas ainda podem ser subdivididas em corridas de solo, corridas de areia, corridas de lama e avalanches.

2.2.2 Queda de Blocos

As quedas de blocos são movimentos extremamente rápidos que ocorrem em penhascos verticais ou taludes muito íngremes por ação da gravidade onde fragmentos rochosos se soltam desses taludes. Segundo Guidicini e Nieble (1983), queda de blocos é definida por uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação. A Figura 4 apresenta a ocorrência desse fenômeno.

Figura 4 - Queda de bloco



Fonte: UNESP (2018)

2.2.3 Tombamento

É a rotação de massa de solo ou rocha em relação a um ponto ou eixo localizado abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. É ocasionado por alguns fatores como, material sobre o talude e água ou gelo nas fraturas de massa (TURNER e SCHUSTER, 1996). Esse material sofre rotação frontal para fora do talude sendo classificado como tombamento. A Figura 5 apresenta um aspecto geral do tombamento de blocos.

Figura 5 - Tombamento



Fonte: Cemaden (2016)

2.2.4 Escorregamento

“Escorregamentos ou deslizamentos são movimentos de massas caracterizados por ocorrerem de forma rápida e com curta duração” (QUEIROZ, 2009). O presente trabalho abordará adiante, de forma sucinta, o escorregamento translacional. Além desse tipo de escorregamento, há também o escorregamento rotacional, que se difere dos demais em razão do seu tipo de mecanismo. A Figura 6 apresenta e compara, de forma esquemática, esses dois tipos de escorregamentos.

Figura 6 - Escorregamentos/deslizamentos



Fonte: Cemaden (2016)

2.2.4.1 Escorregamentos rotacionais

Queiroz (2009, p.216) contextualizou que os escorregamentos rotacionais “ocorrem em solos aproximadamente homogêneos e isotrópicos, em que a superfície de ruptura é considerada um trecho de círculo”. Esse tipo de movimento de massa é bastante comum ao longo de obras lineares de engenharia, devido a construção de taludes artificiais, onde as camadas de solo tendem a ter comportamento homogêneo devido a utilização de corte e aterro (MURK, SKINNER e PORTER, 1996).

Nas áreas costeiras, uma causa frequente desses movimentos é a erosão marinha da base das vertentes. Assim, sem suporte, a vertente colapsa, muitas vezes por escorregamentos rotacionais (DIAS, 2006).

2.2.4.2 Escorregamentos translacionais

Esses escorregamentos se diferenciam dos rotacionais pela forma de ruptura e pelo tipo de solo. Nos translacionais, normalmente, o solo possui descontinuidades ao longo da superfície de ruptura, caracterizando a heterogeneidade e anisotropia (QUEIROZ, 2009).

No que diz respeito aos deslizamentos rotacionais, estes ocorrem em taludes mais íngremes e com pouca extensão (KRYNINE e JUDD, 1957 *apud* GUIDICINE e NIEBLE, 1983). Os deslizamentos translacionais ocorrem em taludes de menor altura e na sua grande maioria são extensos em comprimento, podendo atingir grandes amplitudes.

2.3 CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS

A instabilidade de taludes ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas se igualam com à resistência ao cisalhamento (GERSCOVICH, 2016). Assim o fator de segurança (FS) se iguala a 1, como pode ser observado na Equação 1.

$$\frac{\tau_f}{\tau_{mob}} = FS = 1 \quad (1)$$

Onde:

τ_f = Resistência ao cisalhamento

τ_{mob} = Tensões cisalhantes mobilizadas

FS = Fator de segurança

Neste sentido, a ruptura pode acontecer tanto pelo aumento das tensões cisalhantes, como pela redução da resistência ao cisalhamento. Portanto, essas causas podem ser divididas em 2 grupos conforme exposto nas Tabelas 2 e 3 (VARNES, 1978 *apud* GERSCOVICH, 2016).

Tabela 2 - Classificação do aumento da tensão cisalhante

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/ Antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção da massa lateral ou da base	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água da chuva, acúmulo natural de material, peso da vegetação, construção de estruturas, aterros.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc Explosões, tráfego
	Pressões laterais	Água em trincas Congelamento Material expansivo

Fonte: Adaptada de Varnes (1978 *apud* Gerscovich 2016)

Tabela 3 - Classificação da redução da resistência ao cisalhamento

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/ Antrópicos
Redução da resistência ao cisalhamento	Característica do material, como geometria, estrutura etc	Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo: alterações físico-químicas Variação das poropressões Elevação do lençol freático Infiltração de água

Fonte: Adaptada de Varnes (1978 *apud* Gerscovich 2016)

2.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS

2.4.1 Definição

Com base no critério de Mohr-Coulomb, a resistência ao cisalhamento do solo é definida pelos parâmetros ângulo de atrito (ϕ) e coesão (c).

A coesão é uma parcela de resistência, e é independente da tensão normal aplicada ao solo. Segundo Vargas (1977), a coesão é a resistência do solo pela qual o solo se mantém coeso, em forma de torrões ou blocos, ou podendo ser cortado em formas diversas e manter essa nova geometria. Solos não-coesivos, como por exemplo as areias e pedregulhos, destituem-se facilmente ao serem cortados ou escavados. Geralmente, a coesão possui menor contribuição na resistência ao cisalhamento dos solos, ficando boa parte dessa resistência dependente do ângulo de atrito.

O ângulo de atrito pode ser comparado com o atrito do problema clássico de física, onde um bloco desliza em um plano inclinado, sendo o atrito a força que tenta impedir esse movimento.

A diferença do ângulo de atrito ao atrito entre dois corpos é que o solo é formado por um sistema de partículas, composto por diversos grãos que podem rolar. Há também a presença de vazios que vão sendo preenchidos por esses grãos, tornando o ângulo de atrito um fenômeno mais complexo. Assim, buscam-se formulações que simplifiquem e descrevam de forma mais exata as condições de ruptura dos materiais.

2.4.2 Ensaios para a determinação dos parâmetros de resistência

Diversos são os ensaios para se definir os parâmetros de resistência do solo. Estes ensaios geotécnicos podem ser realizados tanto *in situ* como em laboratório. No Brasil, destacam-se, entre os ensaios *in situ*, o Ensaio de Penetração de Cone (CPT – Cone Penetration Test), normalizado pela ABNT através da NBR 12069/1991, e o Vane Shear Test (conhecido também como ensaio de palheta), também normalizado pela ABNT através da NBR 10905/1989. Contudo, ressalta-se que ambos os ensaios citados não são comumente utilizados em análises de estabilidade de encostas, sendo aplicados de forma mais usual para a determinação de parâmetros geotécnicos de argilas sedimentares moles.

Existem ainda outros tipos de ensaios que não são muito utilizados no Brasil, como por exemplo o *Borehole Shear Test*. Este tipo de ensaio foi empregado no presente trabalho, e trata-se de um ensaio *in situ*, que gera resultados em um curto período de tempo. A Universidade Federal de Santa Catarina, em 2014, foi a pioneira na utilização deste ensaio no Brasil, gerando bons resultados quando comparados com o Cisalhamento Direto, ensaio mais comumente utilizado para a determinação dos parâmetros de resistência de encostas no Brasil.

Com relação aos ensaios de laboratório, os testes mais comumente empregados são os Ensaios de Compressão Simples, Ensaio de Compressão Triaxial e o Ensaio de Cisalhamento Direto.

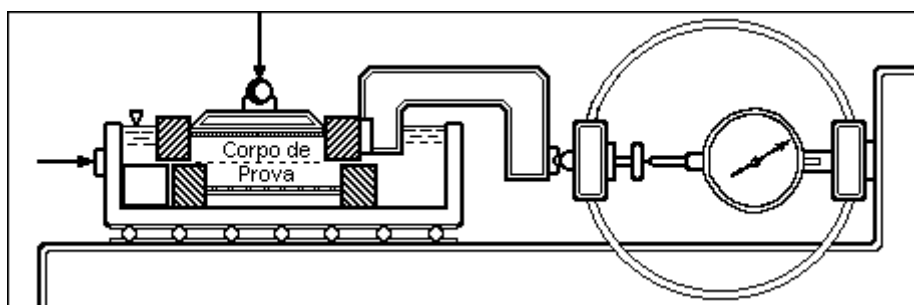
2.4.2.1 Ensaio de Cisalhamento Direto

Segundo Pinto (2000), o ensaio de cisalhamento direto é o ensaio mais antigo para a identificação da resistência ao cisalhamento de um solo. Ele segue as diretrizes da norma americana ASTM D3080.

Este ensaio deve ser executado no estado drenado, devendo ser executado de forma a impedir o desenvolvimento de pressões neutras nos poros da amostra.

O ensaio é realizado através de um equipamento (Figura 7) que promove o deslizamento de uma metade do corpo de prova de solo em relação a outra. Com isso, é determinando, para cada tensão normal aplicada, uma tensão cisalhante necessária para a deformação do corpo de prova até a ruptura (UFBA, 2009).

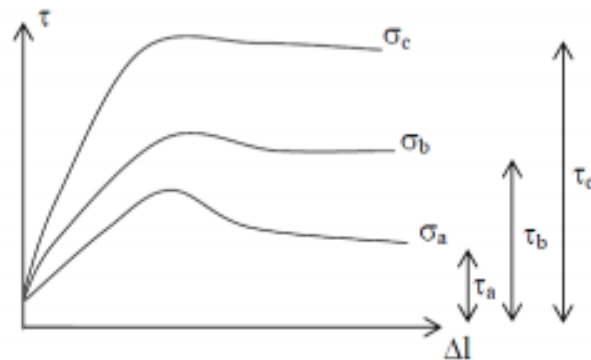
Figura 7 - Ensaio cisalhamento direto



Fonte: UFBA (2009)

Segundo Marangon (2009), o ensaio deve manter constante a tensão vertical e medir a tensão cisalhante correspondente a cada deformação horizontal, gerando dessa maneira a curva tensão-deformação. As deformações verticais devem ser também registradas, com o objetivo de verificar se houve variações volumétricas no corpo de prova (Figura 8).

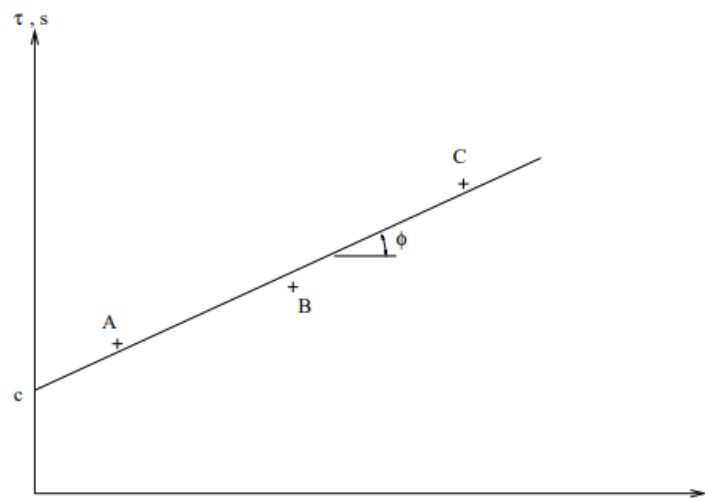
Figura 8 - Curva tensão-deformação



Fonte: Departamento de Construção Civil, UFPR (2017)

Com os dados dos ensaios realizados em corpo de prova diferentes de um mesmo solo, é traçada a reta que mais se aproxima dos pontos de ruptura, concebendo a envoltória de ruptura. Com essa envoltória e, a partir do critério de Mohr-Coulomb, encontram-se os parâmetros de resistência do solo. A Figura 9 exemplifica uma envoltória de ruptura.

Figura 9 - Envoltória de ruptura



Fonte: FEC, UNICAMP (2013)

2.4.2.2 Borehole Shear Test (BST)

O *Borehole Shear Test* é um ensaio que se apresenta como uma alternativa de determinação dos parâmetros de resistência dos solos em campo com um baixo tempo de execução (CONTESSI, 2016).

Sua utilização, mesmo que pouco conhecida atualmente, vem sendo realizada em forma de pesquisa pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do LAMGEO (Laboratório de Mapeamento Geotécnico), o que possibilita a sua utilização em pesquisas associadas ao Mapeamento Geotécnico.

Um dos motivos de sua utilização é a sua facilidade e rapidez de execução, além da baixa variabilidade dos resultados (LUTENEGGER e TIMIAN, 1987). A Figura 10 mostra o equipamento necessário para a realização do ensaio.

Figura 10 - Equipamento - BST



Fonte: Handygeotech, 2011

Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASMT, 2010), órgão que normatizou tal ensaio, o BST é executado com uma sonda que se expande com o auxílio de uma bomba de vácuo que comprime a parede do solo conforme a Figura 11

Figura 11 - BST - Sonda Expansiva



Fonte: Handygeotech, 2011

Esta tensão gerada pela expansão da sonda é normal ao plano de ruptura e é definida pelos limites impostos pelo mecanismo do próprio ensaio.

Com esta etapa concluída, ou seja, com a envoltória de ruptura traçada, são determinados os parâmetros de resistência do solo. Para que os erros sejam reduzidos, deve preocupar-se com a variabilidade do operador e do solo a ser estudado, uma vez que esses possíveis erros, causados por estas condições, possam ser minimizados ou até evitados com a utilização de calibradores e manutenções regulares (SAKAMOTO *et al.* 2015).

2.5 EQUAÇÕES QUE DETERMINAM OS FATORES DE SEGURANÇA

Ao longo dos anos vários autores deduziram diferentes equações para a determinação dos fatores de segurança, Culman (1866), Taylor (1948), Bishop (1955), Morgenstern (1960), Spencer (1967), Jambu (1972), Sarma (1973), Hoek e Bray (1974).

Essas equações foram calculadas para todos os tipos de superfícies de ruptura que possam ocorrer em encostas. Cada um desses métodos apresentam vantagens e considerações que limitam seus usos. Alguns desses métodos serão abordados com mais detalhes a seguir.

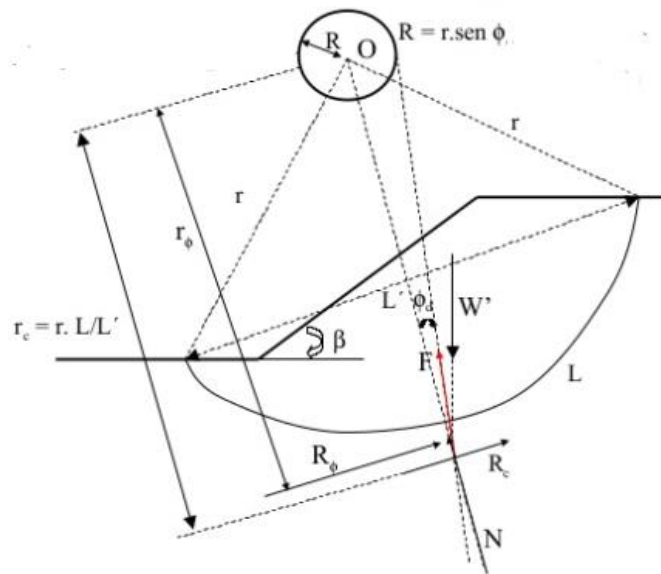
2.5.1 Ruptura Circular

2.5.1.1 Método de Taylor (1948)

Taylor (1948) foi o primeiro a desenvolver ábacos para o cálculo da estabilidade de taludes. As condições que ele utilizou em sua pesquisa foram bem claras: fator de segurança igual a 1, geometria simples, exemplificada na Figura 12, solo homogêneo e saturado e superfície de ruptura circular (GERSCOVICH, 2016).

Atualmente esses ábacos encontram-se em desuso devido às várias restrições e por serem somente aplicados à análises de tensões totais, considerando resistência não drenada constante com a profundidade, o que não ocorre com muita frequência em campo (GERSCOVICH, 2016).

Figura 12 - Geometria adotada, método de Taylor (1948)



Fonte: slideshare (MÉNDEZ, 2013)

Com o auxílio dos vários ábacos e da geometria adotada e considerando o fator de segurança igual a 1, são determinados o fator de estabilidade e a altura crítica. Com a altura crítica encontrada, determina-se o fator de segurança, conforme a Equação 2.

$$FS = H_c/H=1 \quad (2)$$

Onde:

H_c = Altura crítica

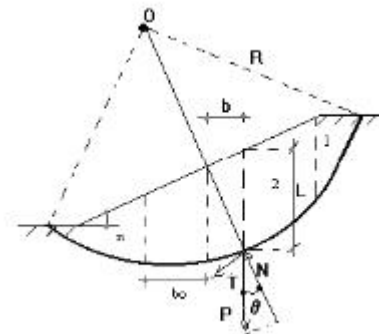
H = Altura do talude

2.5.1.2 Método das Fatias

Este método não apresenta restrições quanto à homogeneidade, geometria do talude e nem mesmo o tipo de análise, podendo o talude apresentar uma superfície irregular, além de possibilitar incluir também, a distribuição de poropressão. Por estes motivos, esse é um dos métodos mais utilizado em estudos de estabilidade de taludes (GERSCOVICH, 2016).

A execução deste método consiste em dividir a superfície do talude em várias fatias e aplicar as equações de equilíbrio (somatório das forças verticais, horizontais e momentos iguais a 0).

Figura 13 - Método das fatias



Fonte: ebah (2018)

Ao aplicar todas as equações de equilíbrio são encontradas mais incógnitas do que equações, então são feitas algumas hipóteses simplificadoras para a solução do problema.

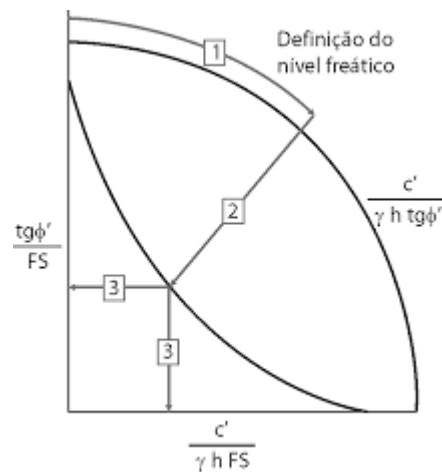
Na prática, os métodos de Fellenius (1936) e Bishop (1958) são os mais utilizados, se diferenciando, praticamente, nas hipóteses adotadas para o cálculo.

2.5.1.3 Método de Hoek e Bray (1974)

O método de Hoek e Bray (1974), assim como de Taylor (1948), também utiliza ábacos para a definição do fator de segurança. Para sua realização, Hoek e Bray consideraram algumas

hipóteses (GUIDICINE e NIEBLE, 1983), sendo elas: o material é homogêneo, ocorrência de ruptura em uma superfície circular, uma fenda de tração vertical ocorre no topo ou na face do talude, a fenda é posicionada para que o fator de segurança seja o mínimo para a geometria do talude e é considerado uma variação nas condições de água subterrânea. A sequência para a utilização desses ábacos pode ser observada na Figura 14.

Figura 14- Sequência da utilização dos ábacos de Hoek e Bray



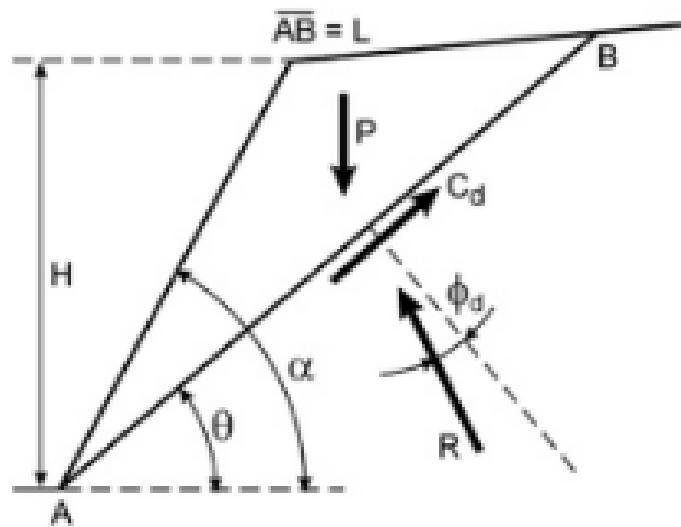
Fonte: (GERSCOVICH, 2016, p. 132)

2.5.2 Ruptura Planar

2.5.2.1 Método de Culmann (1866)

O método de Culmann apoia-se na hipótese de que a superfície de ruptura plana passa pelo pé do talude. Então a massa de solo se comporta como se fosse um corpo rígido deslizando ao longo dessa superfície. A Figura 15 exemplifica esse método com as forças atuantes.

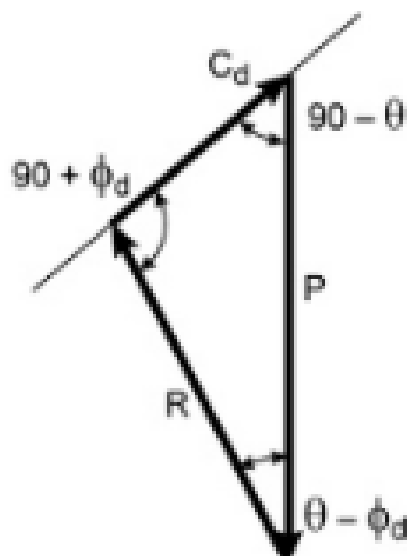
Figura 15 - Forças atuantes



Fonte: (MASSAD, 2010)

A partir dessas forças é feito um desenho da forma e disposição conveniente dos triângulos de composição das forças (VARGAS, 1978). Assim é criado o polígono das forças (Figura 16) e após alguns cálculos e considerações obtém a solução analítica de Culmann.

Figura 16 - Polígonos das forças



Fonte: (MASSAD, 2010)

Com as transformações adequadas chega-se em:

$$\frac{c_d}{\gamma H} = \frac{1 - \cos(\alpha - \phi_d)}{4 \operatorname{sen} \alpha * \cos \phi_d} \quad (3)$$

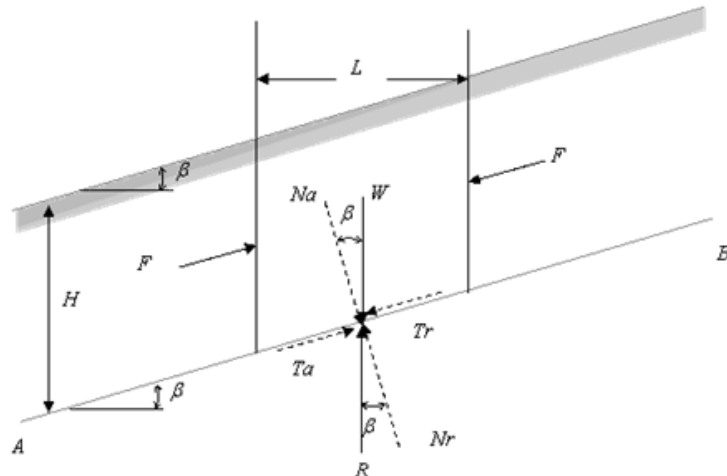
que é a solução analítica de Culmann.

2.5.2.2 Método dos Taludes Infinitos

Segundo Marangon (2009), um talude pode ser definido com infinito quando a relação entre suas grandezas geométricas, extensão e espessura for muito grande. Assim a linha de ruptura é paralela à superfície do terreno.

Com isso, desprezam-se os efeitos de extremidades e assim os esforços podem ser identificados (GERSCOVICH, 2016). Resolvendo o equilíbrio de forças da fatia das Figuras 17 e 18 nas direções paralela e perpendicular à superfície do talude obtém-se as equações para o cálculo do fator de segurança do método dos taludes infinitos para a situação sem percolação e para a situação com percolação.

Figura 17 – Forças que atuam em uma fatia sem percolação



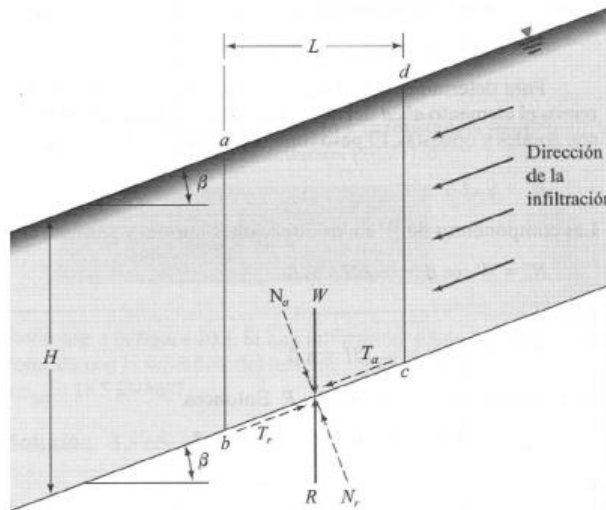
Fonte: (ESPARZAVILI, 2017)

Assim, fazendo as devidas substituições, chega-se na expressão para o cálculo do fator de segurança (FS) para tensões efetivas no caso sem percolação

$$FS = \frac{c}{\gamma.H.\cos^2\beta.\tan\beta} + \frac{\tan\phi}{\tan\beta} \quad (4)$$

Quando se considera a percolação da água, o equilíbrio de forças muda, alterando assim a Equação do fator de segurança (Figura 18).

Figura 18 - Forças que atuam em uma fatia com percolação



Fonte: (ESPARZAVILI, 2017)

Deduzindo-se equilíbrio de força, obtém-se a seguinte Equação do fator de segurança para o caso com percolação.

$$FS = \frac{c}{\gamma_{sat}.H.\cos^2\beta.\tan\beta} + \frac{\gamma'.\tan\phi}{\gamma_{sat}.\tan\beta} \quad (5)$$

Onde, para as duas equações:

c = Coesão

H = Profundidade do solo

γ = Peso específico do solo

γ' = Peso específico efetivo do solo

γ_{sat} = Peso específico saturado do solo

β = Inclinação do talude

ϕ = Ângulo de atrito

FS = Fator de Segurança

A partir dessa Equação podem-se resumir outras equações dependendo das situações e condições que se encontram o talud. Gerscovich (2016), resumiu essas diferentes situações, que podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Talude infinito sob diferentes condições

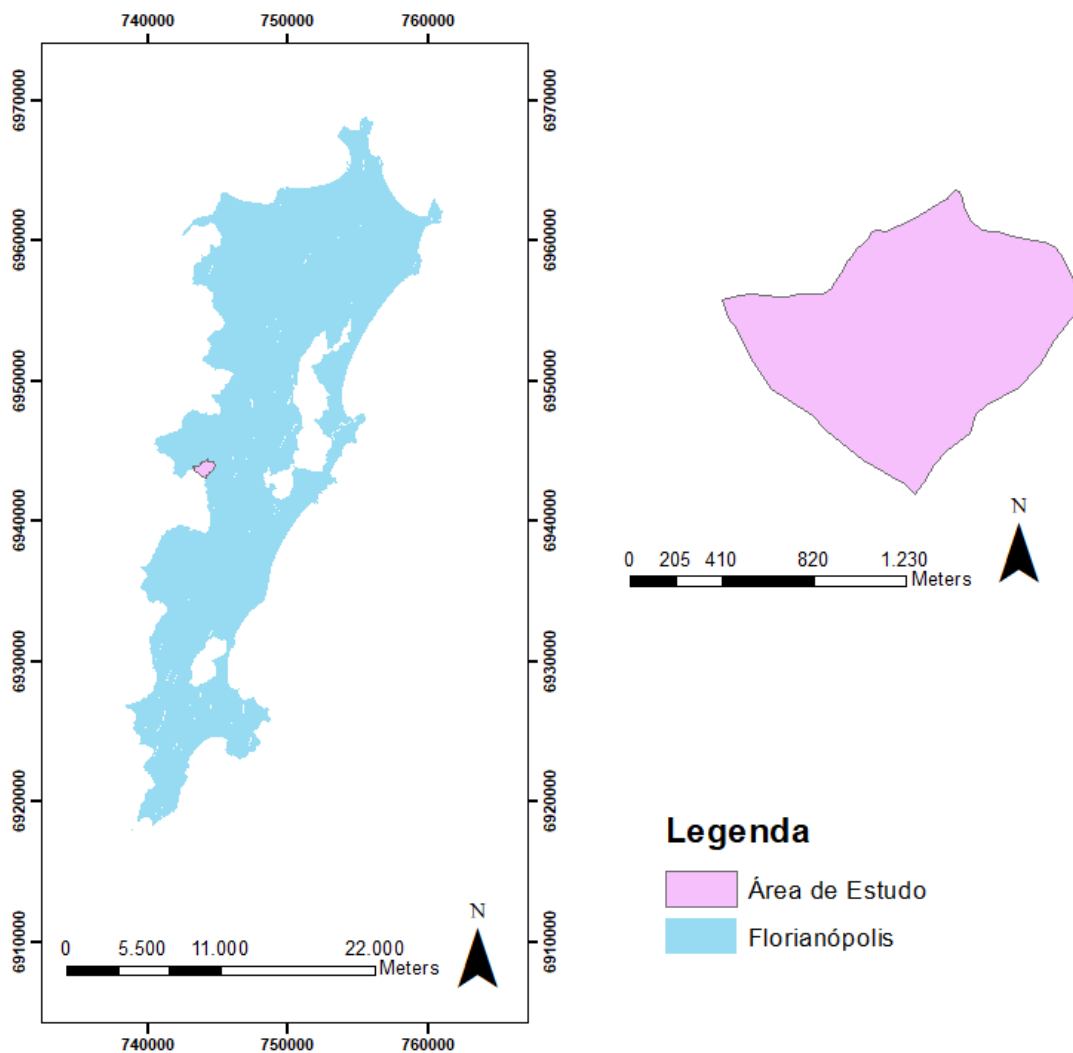
Condição	Fator de Segurança em tensões efetivas
$c'=0$ e $u=0$	$FS = tg\phi' / tg\beta$ (6)
$c'=0$; $u=>$ fluxo paralelo ao talude $u = \gamma_w(mh\cos^2\beta)$	$FS = \frac{tg\phi'}{tg\beta} (1 - m \frac{\gamma_w}{\gamma})$ (7)
$c'=0$; $u=>$ fluxo paralelo ao talude e nível da água coincidente com a superfície do talude, assim $m=1$	$FS = \frac{tg\phi'}{tg\beta} \left(\frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma} \right)$ (8)
Atuação da raiz como elemento de reforço na zona de cisalhamento com resistência à tração T_R . Talude infinito: reforço com raízes.	<p>Assumindo-se, inicialmente, a raiz é normal à superfície de escorregamento, tem-se, com a movimentação relativa (λ), a mobilização da resistência à tração da raiz. E a resistência do sistema (T_{Rf}) consistirá na resistência ao cisalhamento do solo (T_f) acrescida da parcela correspondente à raiz (T_R). As componentes na direção normal e cisalhante são, respectivamente:</p> $N_T = N + T_R \cos\lambda$ (9) <p>e</p> $T_R \sin\lambda + S = \tau_R \sin\lambda + \left(\frac{[cl + (N + T_R \cos\lambda)tg\phi] + \frac{u_a - u_w}{tg\phi^b}}{FS} \right)$ (10) <p>Na condição saturada</p> $FS = \frac{c'l + [\gamma h l \cos^2\beta + T_R \cos\lambda - ul]tg\phi'}{\gamma h l \sin\beta \cos\beta - T_R \sin\lambda}$ (11) <p>Na condição não saturada</p> $FS = \frac{cl + [\gamma h l \cos^2\beta + T_R \cos\lambda]tg\phi' + (u_a - u_w)tg\phi^b}{\gamma h l \sin\beta \cos\beta - T_R \sin\lambda}$ (12)

Fonte: (GERSCOVICH, 2016, p. 108-109)

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Á área de estudo (Figura 19) se encontra na parte central de Florianópolis, capital de Santa Catarina, abrangendo parte dos bairros do Pantanal, Saco dos Limões e Carvoeira. Encontra-se situada entre os paralelos 27°36'51'' e 27°36'7'' de Latitude Sul e entre os meridianos de 48°32'10'' e 48°31'13 de Latitude Oeste conforme carta-base digitalizada do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) e possui área de 1,12 km².

Figura 19 - Recorte da área de estudo



Fonte: Autor (2018)

3.1 CLIMA

Á área apresenta características climáticas do litoral sul-brasileiro com estações do ano bem caracterizadas e verão e inverno bem definidos. A temperatura média anual é de 20,4° e umidade relativa de 80% (INMET, 2017). As estações de chuva são bem distribuídas, não havendo estação de seca bem definida, sendo geralmente o verão a estação que apresenta o maior índice pluviométrico (Hermann *et al*, 1986). A Tabela 5 mostra as principais características climatológicas para o local.

Tabela 5: Características climáticas da região de Florianópolis

Mês	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)		Dias de chuva	Umidade relat. (%)	Ventos	
	méd.	máx.	mín.	total	máx. em 24h			Veloc (m/s)	Direção
Jan	24,5	38,2	10	196,7	56,8	14,8	80,9	3,5	N
Fev	24,6	38,8	14,8	186,7	58,8	14,6	81,5	3,6	N
Mar	24,1	36,9	10,2	170	52,8	14,2	81,7	3,4	N
Abr	21,8	35,4	7,7	128,8	40,2	11,2	81,6	3,1	N
Mai	19,4	33,5	3,3	107,2	46,5	8,9	82,4	2,8	N
Jun	17,4	32	1,7	85,2	29,5	8,4	83,3	2,9	N
Jul	16,3	32,7	1,4	82,6	30	8,8	83,1	3,1	N
Ago	16,8	35	1,3	94,3	32	9,1	82,5	3,6	N
Set	17,8	32,9	4,9	117,1	37,6	11,6	82,8	3,8	N
Out	19,4	32,5	7,8	132,4	39,6	12,8	81,4	4,1	N
Nov	21,2	37,5	9,4	131,8	46,5	12,5	79,6	4,2	N

Fonte: EPAGRI (2007) *apud* Christ (2014)

3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso do solo urbano gera alterações do meio físico, caracterizado pela concentração de áreas construídas ocupadas por residências, indústrias, equipamentos e comércio (SANTOS, 1997).

Assim, é fácil perceber que a área de estudo tende a sofrer com alterações físicas no decorrer dos anos, visto que o crescimento demográfico ocorre de forma significativa, esquematizado na Tabela 6 e, assim, a ocupação dessas áreas pela população é eminente (em alguns pontos já ocorre).

Tabela 6 - Crescimento da população de Florianópolis

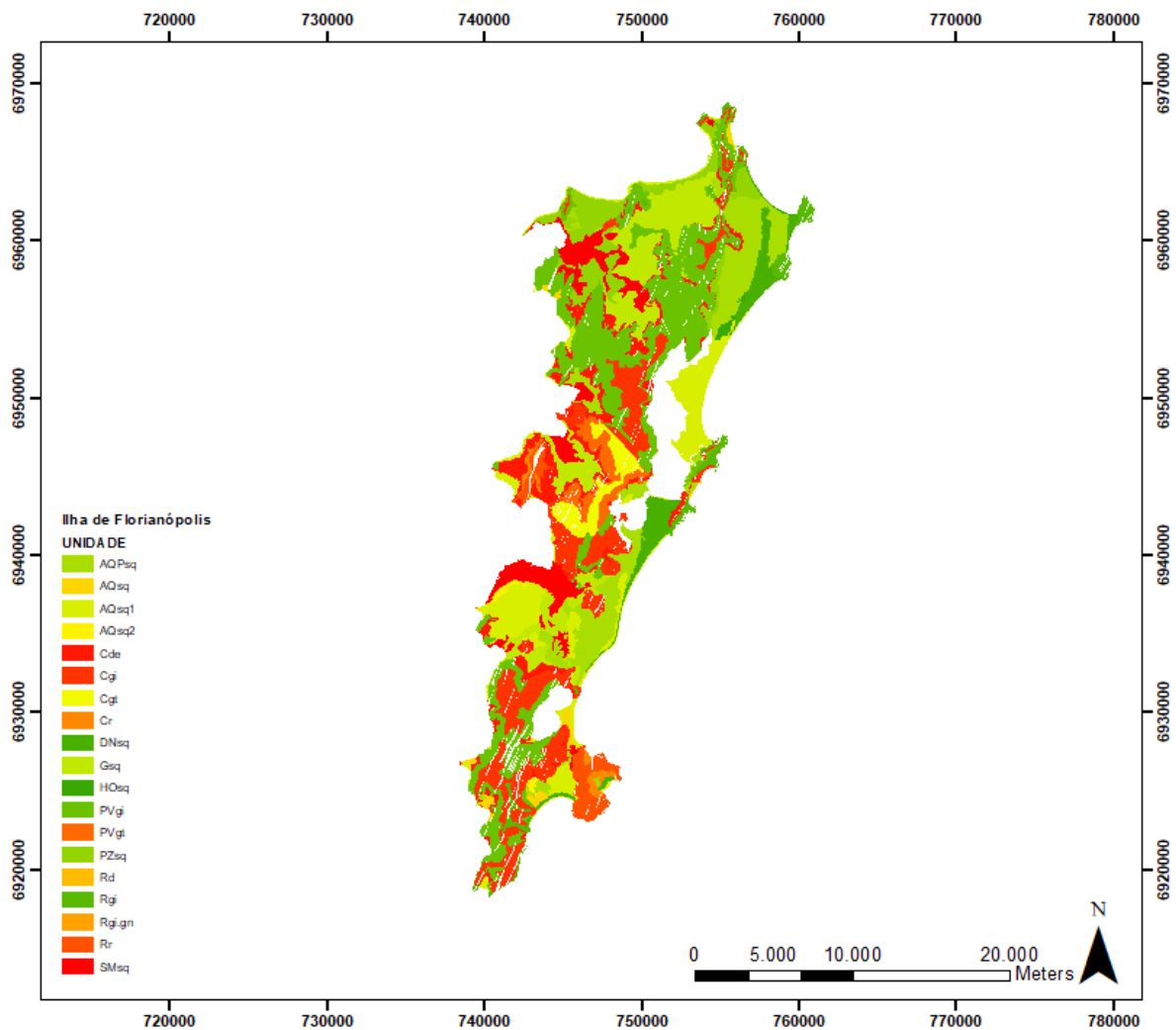
Censo	População	%+
1872	25.709	-
1900	32.229	25,4%
1920	41.338	28,3%
1940	46.771	13,1%
1950	51.317	9,7%
1960	98.520	92,0%
1970	138.337	40,4%
1980	187.880	35,8%
1991	255.390	35,9%
2000	342.315	34,0%
2010	421.240	23,1%
2018 (estimado)	492.977	17,1%

Fonte: IBGE (2018)

3.3 GEOTECNIA

O mapeamento das unidades geotécnicas de Florianópolis foi realizado por Santos (1997). Tal mapeamento abrange toda a ilha, caracterizando cada uma de suas unidades, e foi posteriormente revisado por Christ (2014), que aperfeiçoou a escala do mapeamento geotécnico anterior (Figura 20).

Figura 20 - Mapeamento Geotécnico - Florianópolis



Fonte: Christ (2014)

Duarte (1999) e Santos (1997) descreveram cada uma das unidades geotécnicas presentes na ilha de Santa Catarina, porém serão citadas a seguir apenas às unidades geotécnicas que são pertinentes à área de estudo apresentada no presente trabalho.

Cambissolo de substrato ilha (Cgi): esta unidade apresenta um horizonte B incipiente e com minerais da rocha de origem pouco intemperizados, localiza-se próximo a topo de morros, em relevo acidentado. Este tipo de Cambissolo representa a transição entre as unidades Litólicos e Podzólicos. Em locais onde há menor declividade, pode se apresentar com horizontes A e B incipientes e C profundo (DUARTE, 1999).

Cambissolo de substrato depósito de encosta (Cde): resultante da movimentação de solos que sedimentaram em cotas mais baixas. O seu comportamento depende do seu grau de desenvolvimento, sendo que os colúvios mais recentes são os mais instáveis aos movimentos de massa (DUARTE, 1999).

Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários (AQsq): Nessa unidade geotécnica foram agrupadas as unidades pedológicas das Areias Quartzosas hidromórficas que não apresentam argila de atividade alta, pois, para fins geotécnicos, os problemas são comuns. A drenagem desses solos sob o ponto de vista da engenharia é rápida da mesma forma que a mobilização da resistência ao cisalhamento. Esse tipo de areia é característico de regiões mais planas da ilha e, portanto, não serão determinados os seus parâmetros de resistência. (SANTOS, 1997).

3.4 MOVIMENTOS TRANSLACIONAIS EM SANTA CATARINA

Tornou-se comum no período de início de ano em Santa Catarina ser noticiada nacionalmente devido a deslizamentos de terra e enchentes causadas pelo excesso de chuva no período. Assim tornou-se importante o desenvolvimento de estudos a respeito das causas e consequências destes eventos.

Um evento que ganhou destaque histórico, dada as vidas perdidas e danos causados ocorreu entre os anos de 2008 e início de 2009, que atingiu bruscamente o vale do Itajaí e várias outras regiões (Figura 21).

Figura 21 - Deslizamento em Itajaí



Fonte: Ceped (2009)

Segundo dados da Defesa Civil, 63 cidades entraram em situação de emergência, 14 em estado de calamidade pública, 135 mortes e 1,5 milhões de pessoas foram atingidas, além do prejuízo de 4,75 bilhões de reais para o estado nos setores de infraestrutura, social e produtivo.

Porém eventos recentes (2018) destacam que o estado ainda carece de soluções para evitar os prejuízos causados por deslizamentos. Diversos deslizamentos que causam inúmeras perdas de vidas e danos materiais ainda são anunciados frequentemente pela Defesa Civil.

Figura 22 – Deslizamento começo de 2018 na Vila Aparecida, região continental de Florianópolis



Fonte: Prefeitura de Florianópolis (2018)

Assim é preciso identificar os pontos onde a chance de ocorrência destes tais deslizamentos é maior e evitar a alocação de edificações nesses locais.

Uma das formas para se verificar a segurança de uma encosta e sua suscetibilidade a movimentos translacionais é o método dos taludes infinitos e sua utilização em mapeamento geotécnico. Tal combinação de técnicas será abordada no capítulo de Método, apresentado a seguir.

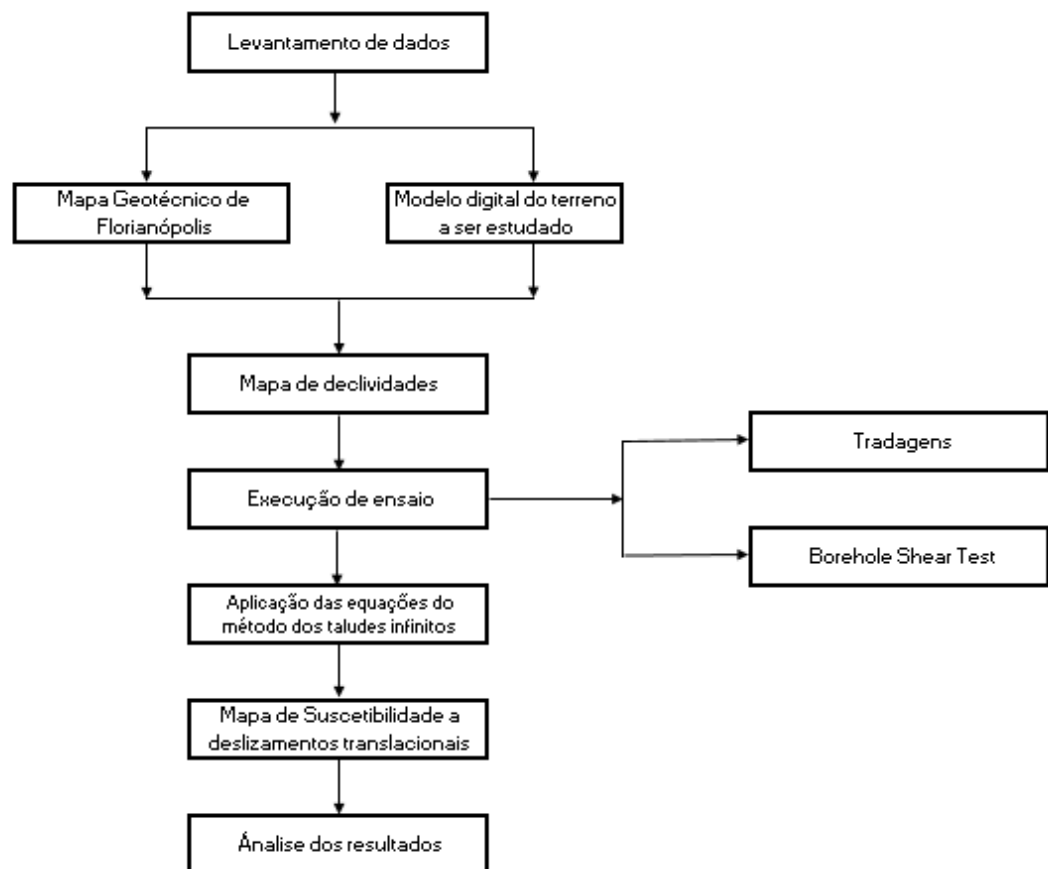
4 MÉTODO

O desenvolvimento deste estudo é justificado pela recente ocorrência de deslizamentos no início do ano de 2018 na região de Santa Catarina, escolhendo uma área com suscetibilidade a tais movimentos.

A caracterização da área se deu por dados existentes e pela utilização do *Borehole Shear Test*, um método não muito utilizado aqui no Brasil mas que gera resultados rápidos, comparados com o cisalhamento direto (método mais empregado), e precisos.

Com isso realizou-se a análise dos escorregamentos translacionais da região. Essas análises foram feitas a partir de duas equações pré-definidas do método de taludes infinitos e comparadas entre si. Serão descritos no presente capítulo, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 23, os procedimentos realizados para obtenção de dados, a aplicação das equações e a geração de mapas para posterior análise de resultados.

Figura 23 - Fluxograma das etapas do estudo



Fonte: Autor (2018)

4.1 OBTENÇÃO E LEVANTAMENTO DOS DADOS

Essa etapa consistiu na obtenção de informações e dados disponíveis acerca do local de estudo a fim de conhecer as peculiaridades do problema. Inclui-se nessa etapa a obtenção de mapas de declividade, imagens do terreno e a realização de ensaios utilizando o *Borehole Shear Test*.

A obtenção do mapa de declividades se deu através do Laboratório de Mapeamento Geotécnico da UFSC (LAMGEO) que disponibilizou o mapa de Florianópolis inteiro.

As imagens da delimitação da área de estudo foram retiradas do *software Google Earth*. O Modelo Digital do Terreno foi obtido por meio do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) usufruindo do levantamento feito pela Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS)

4.1.1 *Borehole Shear Test*

Para a determinação dos parâmetros de cisalhamento por meio da execução do BST foram escolhidos previamente alguns pontos da região. Cada ponto foi perfurado com a utilização do trado. A profundidade do furo foi feita até a total imersão da sonda, que se deu até 1m de profundidade.

Figura 24 - Abertura do furo com o trado



Fonte: Autor (2018)

Após a tradagem, o furo foi inundado e foram aguardados 15 minutos para garantir o umedecimento das paredes. Este processo visa tentar simular a pior condição de resistência do solo com a sua inundação.

Figura 25 - Inundação do furo



Fonte: Autor (2018)

Com isso, foi inserida a sonda no furo devidamente equipada com o manômetro de bomba de vácuo manual. Para a aplicação da tensão normal e arranchamento da sonda, deve-se deixar o equipamento sempre perpendicular ao eixo do furo, assim instala-se uma base com uma fixação de uma abraçadeira, nessa base há um orifício para a passagem da haste que é encaixada na sonda, garantindo a perpendicularidade.

Figura 26 - Equipamento devidamente montado



Fonte: Autor (2018)

Desta forma, aplicou-se a menor tensão normal desejada com o auxílio da bomba de vácuo. Nos ensaios executados nessa pesquisa, foram aplicadas 5 tensões normais de 20/40/60/80/100 kPa para que a envoltória seja obtida de forma mais precisa possível.

Com a aplicação da tensão Normal ao plano de ruptura, deve se esperar o tempo necessário para a consolidação, que para o primeiro teste é de 10 minutos e para as restantes são de 5.

Após o tempo de consolidação, deve-se rotacionar a manivela que se encontra na base do equipamento até o momento em que a tensão cisalhante se estabilize, não variando após 25 rotações completas (Figura 27). Assim, obtém-se a tensão cisalhante para a tensão normal aplicada.

Figura 27 - Rotação da manivela



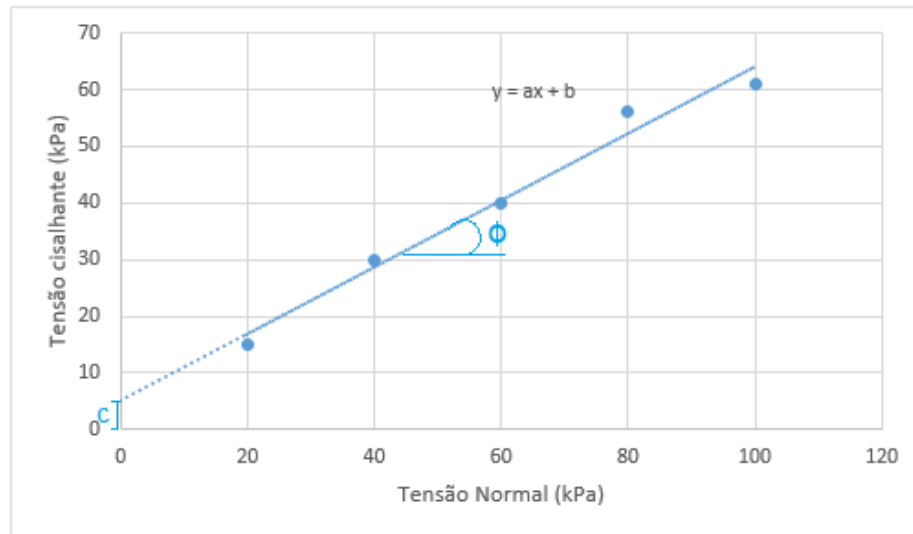
Fonte: Autor (2018)

Para cada tensão normal aplicada, a sonda é retirada, limpa e introduzida novamente em uma nova posição. Isso é feito para que seja mobilizada uma nova porção de solo, e a superfície de ruptura anterior não influencie no ensaio seguinte.

Com os valores de tensão normal e tensão cisalhante, é gerada a envoltória de Mohr-Coulomb para se obter os parâmetros de resistência do solo.

Os resultados são plotados em um gráfico e é traçada a linha de tendência entre os pontos. A coesão é dada pela intersecção da reta com o eixo de tensão cisalhante e o ângulo de atrito é dado pela inclinação da envoltória, visto na Figura 28.

Figura 28 - Gráfico tensão normal x tensão cisalhante



Fonte: Autor (2018)

O gráfico gera a função da linha de tendência (13) que pode ser comparada com o critério de Mohr-Coulomb (14) para encontrar a coesão e o ângulo de atrito.

$$y = ax + b \quad (13)$$

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\phi) + c \quad (14)$$

Onde:

a = coeficiente angular da reta

b = coeficiente linear da reta

τ = tensão cisalhante

σ = tensão normal

ϕ = ângulo de atrito

c = coesão

Comparando as Equações 13 e 14 chega-se em:

$$c = b \quad (15)$$

$$\phi = \tan^{-1}(a) \quad (16)$$

4.2 DEFINIÇÃO DOS FATORES DE SEGURANÇA

A definição dos fatores de segurança veio através da aplicação de duas equações do método dos taludes infinitos. Ambas as equações encontram-se também na revisão bibliográfica. A primeira, como visto, não considera a percolação da água.

$$FS = \frac{c}{\gamma.H.\cos^2\beta.\tan\beta} + \frac{\tan\phi}{\tan\beta} \quad (17)$$

$$FS = \frac{c}{\gamma_{sat}.H.\cos^2\beta.\tan\beta} + \frac{\gamma'.\tan\phi}{\gamma_{sat}.\tan\beta} \quad (18)$$

Cada Equação depende de cinco variáveis, que são elas: coesão (c), ângulo de atrito (ϕ), inclinação do talude (β), profundidade do solo (H) e peso específico do solo (γ).

A coesão e ângulo de atrito foram obtidos pelo *Borehole Shear Test* (BST), visto no capítulo anterior. A inclinação do talude foi determinada através do mapa de declividades de Florianópolis. O peso específico foi retirado da dissertação de mestrado de Christ (2014), para os solos da região.

A espessura do solo (profundidade da superfície de ruptura) necessário para a aplicação das duas equações dos taludes infinitos foi variada para gerar diferentes cenários (1m, 2m, 3m, 4m, 5m).

Assim, foram gerados 5 mapas de suscetibilidade a deslizamentos translacionais para cada Equação, representando os cenários diferentes. Os valores de fator de segurança foram obtidos através das equações (17) e (18) e classificados conforme a Tabela 7.

4.3 GERAÇÃO DOS MAPAS

A classificação da suscetibilidade para a geração de mapas foi delimitada pelo fator de segurança. Os valores da suscetibilidade acima de 1,5 foram considerados estáveis e os valores abaixo de 1,15 foram considerados instáveis, sendo que os valores intermediários seguem a norma NBR 11682 (1991) conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos fatores de segurança

Fator de Segurança	Classificação no ArcGIS	Suscetibilidade
<1,15	Vermelho	Alta
entre 1,15 e 1,3	Laranja	Média alta
entre 1,3 e 1,5	Amarelo	Média baixa
>1,5	Verde	Baixa

Fonte: NBR 11682 (1991) *apud* Autor (2018)

Então, com o auxílio do software *ArcGIS 10.5* foram gerados os mapas comparando os fatores de segurança obtidos para as diferentes profundidades.

4.3.1 Utilização do Software *ArcGIS 10.5*

O primeiro passo na utilização do software para a produção dos mapas foi a delimitação da área de estudo.

Com a área de estudo delimitada, inseriu-se os valores referentes as equações para a posterior realização da álgebra de mapas. Os valores obtidos por esse método foram validados com a utilização do software *Excel 2016*.

Foram adicionadas as respectivas equações no *ArcGIS 10.5* e variou-se a profundidade para criar cenários possíveis e analisar suas consequências.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

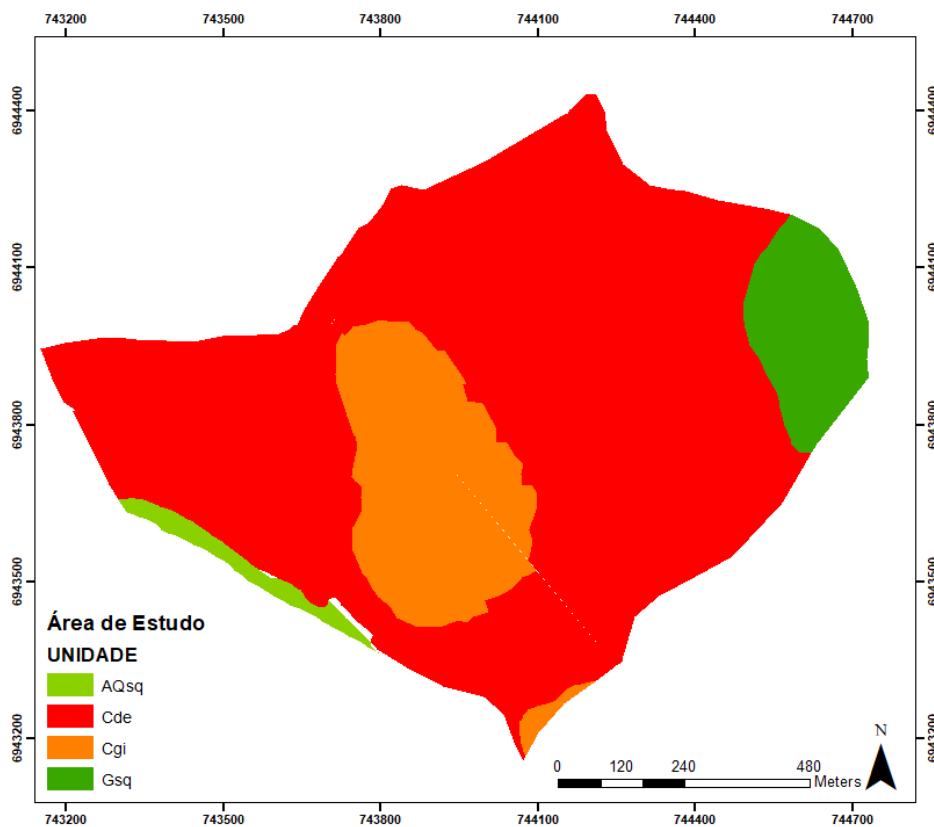
No presente capítulo serão mostrados os resultados da utilização da metodologia adotada, assim como sua análise.

5.1 MAPA GEOTÉCNICO

A Figura 29 mostra as unidades geotécnicas delimitadas pela área de estudo. Foram divididas basicamente em quatro unidades, sendo elas:

- ➔ Cgi – Cambissolo de substrato ilha
- ➔ Cde – Cambissolo de substrato de depósito de encosta
- ➔ AQsq – Areia quartzosa de substrato sedimentos quaternários
- ➔ Gsq – Gleí de substrato sedimento quaternário

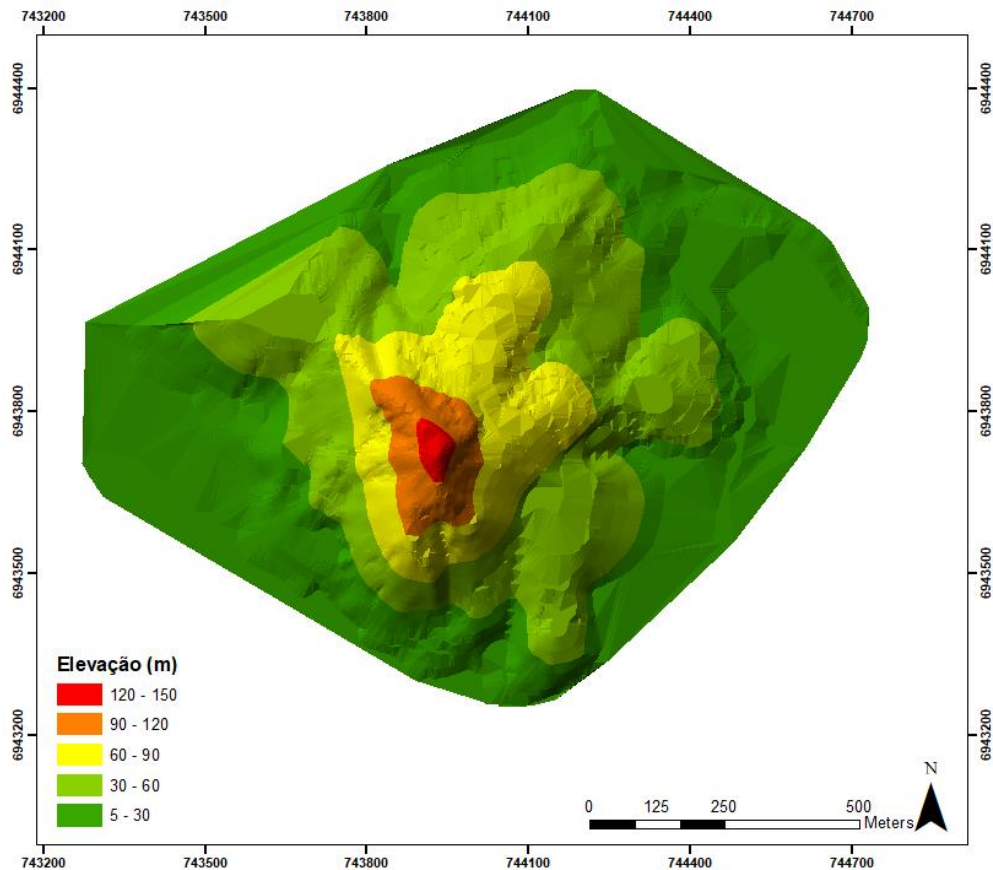
Figura 29 - Mapa geotécnico da área de estudo



Fonte: Adaptado de Santos (1997)

Comparando o mapa geotécnico da Figura 29 com o mapa de elevação da Figura 30 é possível notar que as unidades, em vários pontos, mudam conforme altera sua elevação. Analisando apenas os solos residuais, observa-se que o Cgi é a unidade que ocorre no topo da elevação, seguida dos Cde, que surge em cotas mais baixas e de menor declividade.

Figura 30 - Mapa de elevações da área de estudo

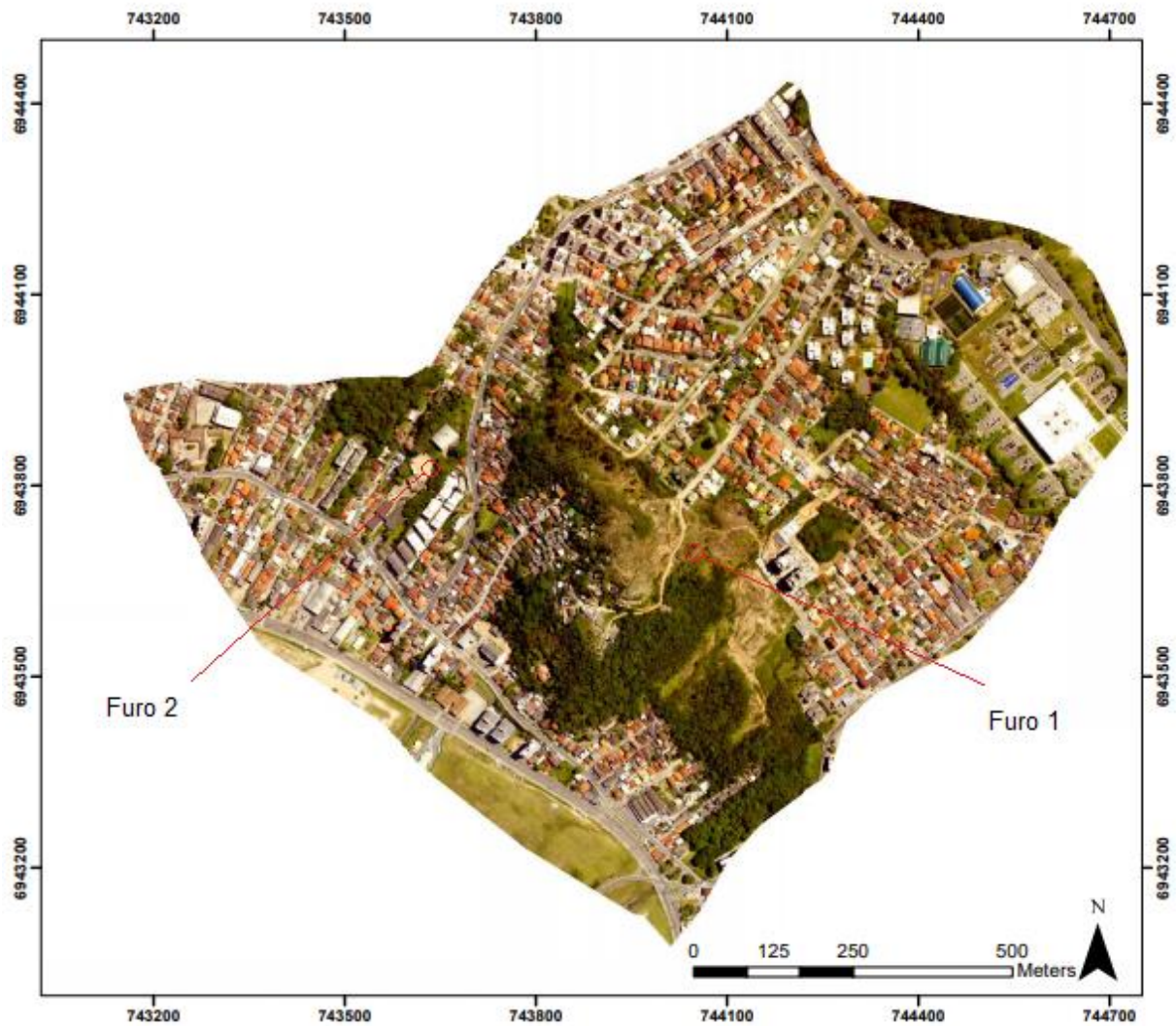


Fonte: Autor (2018)

5.2 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

Os ensaios de resistência foram feitos *in situ*, utilizando o BST. Para isso, foram feitos dois furos, um em cada unidade geotécnica diferente. O primeiro furo foi feito na unidade geotécnica Cdi e o segundo na Cde. O peso específico dos solos foi retirado da dissertação de mestrado de Christ (2014). A localização dos furos se encontram na Figura 31.

Figura 31 - Localização dos furos



Fonte: Autor (2018)

5.2.1 Furo 1

O furo 1 encontra-se localizado no topo da área de estudo na unidade geotécnica Cgi, e apresenta as seguintes características (Tabela 8).

Tabela 8 - Peso específico da unidade geotécnica do furo 1

Solo:	Cambissolo de substrato granito ilha
Peso específico Natural (KN/m³):	15,8
Peso específico Saturado (KN/m³):	18,5

Fonte: Christ (2014)

Os resultados de tensão normal e tensão cisalhante do BST são apresentados na Tabela 9.

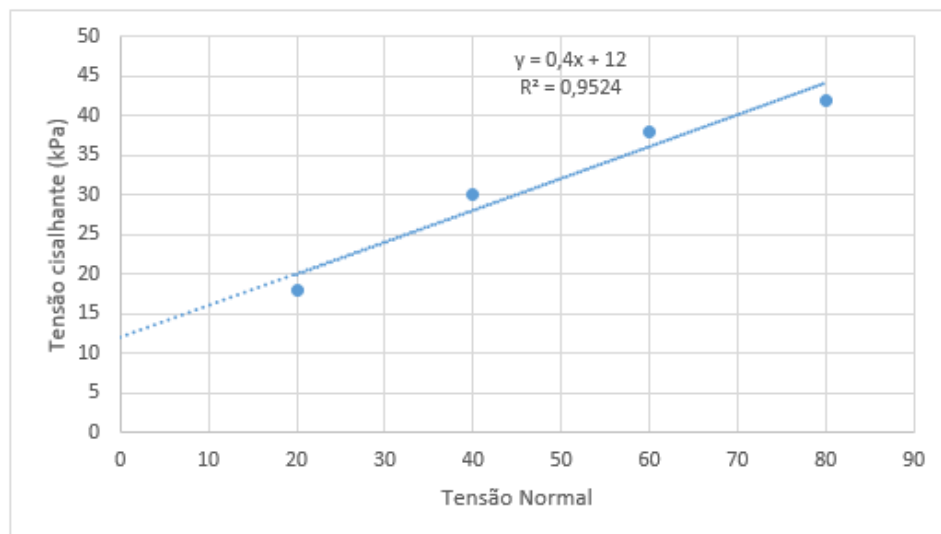
Tabela 9 - Resultado do ensaio BST no furo 1

Estágio	Tensão Normal (KPa)	Tensão Cisalhante (KPa)
1	20	18
2	40	30
3	60	38
4	80	42
5	100	30

Fonte: Autor (2018)

A partir dos ensaios, os pontos foram inseridos em um gráfico, e traçou-se a linha de tendência para serem obtidos os parâmetros de resistência.

Figura 32 - Envoltória de Mohr-Coulomb Furo 1



Fonte: Autor (2018)

Com o gráfico traçado, a Equação da linha de tendência foi gerada com auxílio do software *Excel 2016*, obtendo-se também o coeficiente de ajuste linear (R^2). Com essa Equação (17), juntamente com a Equação conhecida da envoltória de Mohr-Coulomb (18), foi calculado os parâmetros de resistência.

$$y = 0,4x + 12 \quad (17)$$

$$\tau = c + tg(\phi) * \sigma \quad (18)$$

A envoltória para o solo do furo 1 é apresentada na Figura 33, sendo sua coesão efetiva de 12 kPa e seu ângulo de atrito efetivo de 21,8°.

5.2.2 Furo 2

O furo 2 está localizado em uma cota inferior que o furo 1. Sua unidade geotécnica é Cambissolo de substrato depósito de encosta, e a Tabela 10 apresenta as suas características.

Tabela 10 - Peso específico da unidade geotécnica do furo 2

Solo:	Cambissolo de substrato depósito de encosta
Peso específico Natural (KN/m³):	19,1
Peso específico Saturado (KN/m³):	19,8

Fonte: Christ (2014)

Foi executado também o ensaio BST para esta unidade e os resultados são mostrados na Tabela 11.

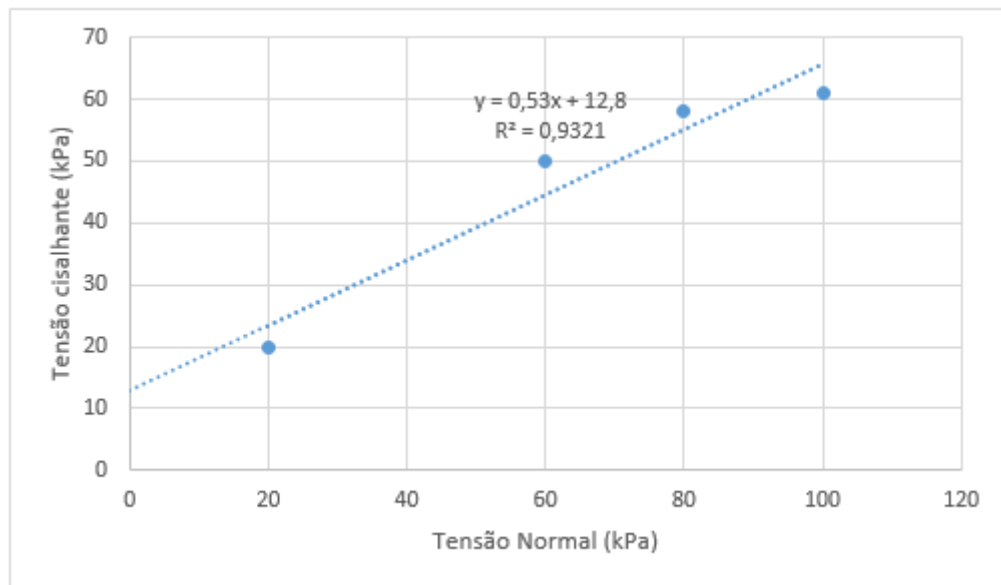
Tabela 11 - Resultado do ensaio BST no furo 2

Estágio	Tensão Normal (KPa)	Tensão Cisalhante (KPa)
1	20	20
2	40	20
3	60	50
4	80	58
5	100	61

Fonte: Autor (2018)

A envoltória para este solo é apresentada na Figura 33, sendo sua coesão efetiva de 12,8 kPa e seu ângulo de atrito efetivo de 27,9°.

Figura 33 - Envoltória de Mohr-Coulomb Furo 2



Fonte: Autor (2018)

Para a validação desses resultados, os parâmetros foram comparados com os resultados alcançados por outros autores, que utilizaram, inclusive, ensaios de cisalhamento direto para alcançar os parâmetros de resistência. Essa comparação encontra-se exemplificada na Tabela 12.

Observa-se, desta forma, que os parâmetros de resistência encontram-se na faixa de valores esperados. Beviláqua (2004) que estudou os solos de granito da Serrinha, bairro analisado por este estudo, alcançou valores muito próximos aos determinados através do BST.

Tabela 12 - Resultados de coesão e atrito

Localidade	Rocha de origem / Horizonte	Coesão (KPa)	Φ (graus)
		Inund	Inund
Cacupé ¹	Granito/ Horizonte C	5,2	35,9
Jardim Guarani ¹	Granito/ Horizonte C	16,82	32,4
Araquãs ²	Granito/ Horizonte C	3	32
Córrego Grande ²	Granito/ Horizonte C	2	37,3
S. Lagoa ²	Granito/ Horizonte C	14	34,4
Serrinha ²	Granito/ Horizonte C	12	34,4
SC - 401 ²	Granito/ Horizonte C	0	40,1
Praia Mole ²	Granito/ Horizonte C	7	43,3
João Paulo ²	Granito/ Horizonte C	4	37,3
Cacupé ²	Granito/ Horizonte C	6	35,2
Ilha-PVg ¹³	Granito/ Horizonte B	16	32
Ilha-PVg ¹³	Granito/ Horizonte C	0	35
Ilha-PVg ¹³	Granito/ Horizonte B	-	-
Ilha-PVg ¹³	Granito/ Horizonte C	-	-
Itacorubi-PVg ²³	Granito/ Horizonte B	32,5	25
Itacorubi-PVg ²³	Granito/ Horizonte B/C	20,4	28
Canasvieiras-Cde ³	Granito/ Horizonte B	9,1	34
Canasvieiras-Cde ³	Granito/ Horizonte C	4	30
Amostra 1 ⁴	Granito/ Horizonte C	15,9	30,9
Amostra 2 ⁴	Granito/ Horizonte C	4,16	30,4
Amostra 3 ⁴	Granito/ Horizonte C	6	35,4
POA Ponta Grossa ⁵	Granito/ Horizonte C	-	-
CD ⁵	Granito/ Horizonte C	20,7	36
CL ⁵	Granito/ Horizonte C	36,5	35
CT ⁵	Granito/ Horizonte C	34,4	29
Algarve ⁶	Granito/ Horizonte C	0,87	46,5
Algarve ⁶	Granito/ Horizonte B	2,03	36
PVg ⁷	Granito/ Horizonte C	29	30
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	11	31,4
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	3,58	32,1
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	13,4	35,1
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	12,99	38,7
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	0	41,3
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	1,36	31,5
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	11,84	23,2
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	10,95	31,6
Higashi ⁸	Granito/ Horizonte C	7,3	33,7
Furo 1	Granito/ Horizonte C	12	21,8
Furo 2	Granito/ Horizonte C	12,8	27,9

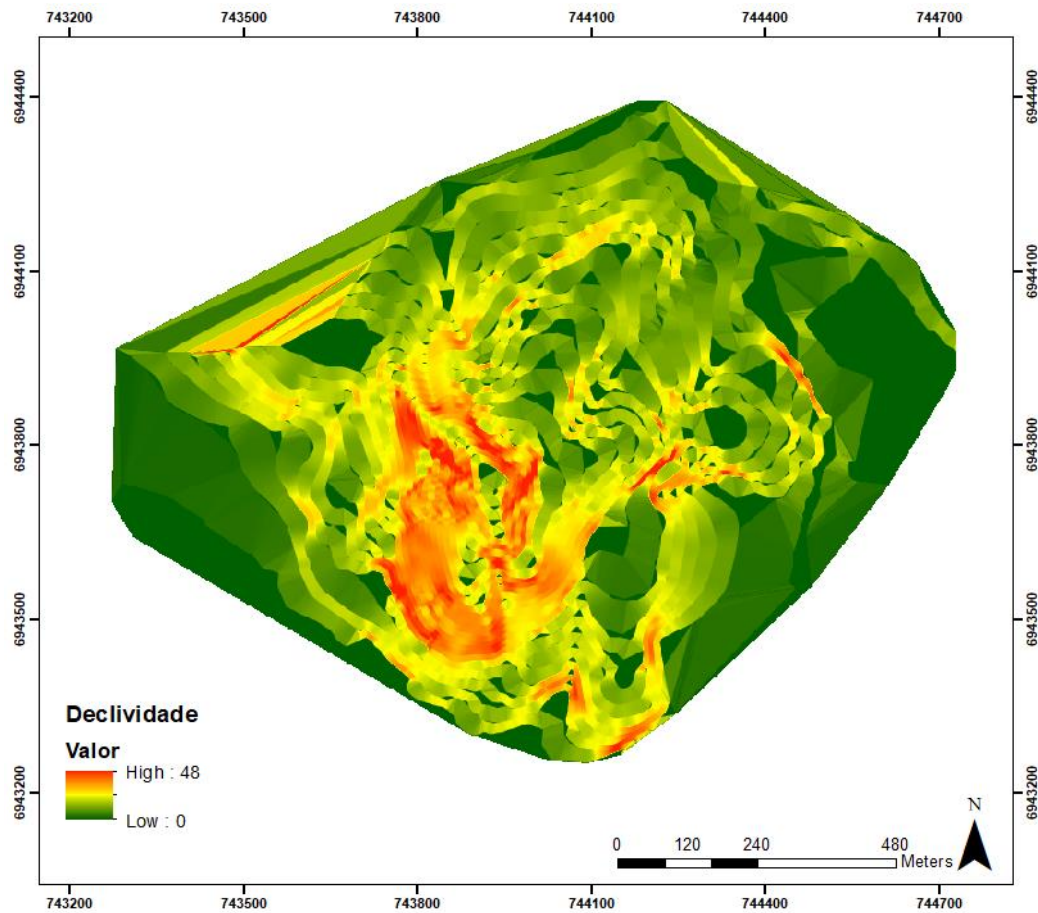
Fonte: ¹Raimundo et al. (2002) / ²Beviláqua (2004) / ³Santos (1997) / ⁴Meirelles e Davison Dias (2004)/

⁵Bastos (1991) in Beviláqua (2004)/ ⁶Bastos (1999)/ ⁷Davison Dias (1987)/ ⁸Higashi (2006)/ Autor (2018)

5.3 MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS

O mapa de declividades da Figura 34 mostra que a região correspondente à unidade geotécnica Cgi apresenta inclinações bastante acentuadas, estando suscetível a movimentos de massa.

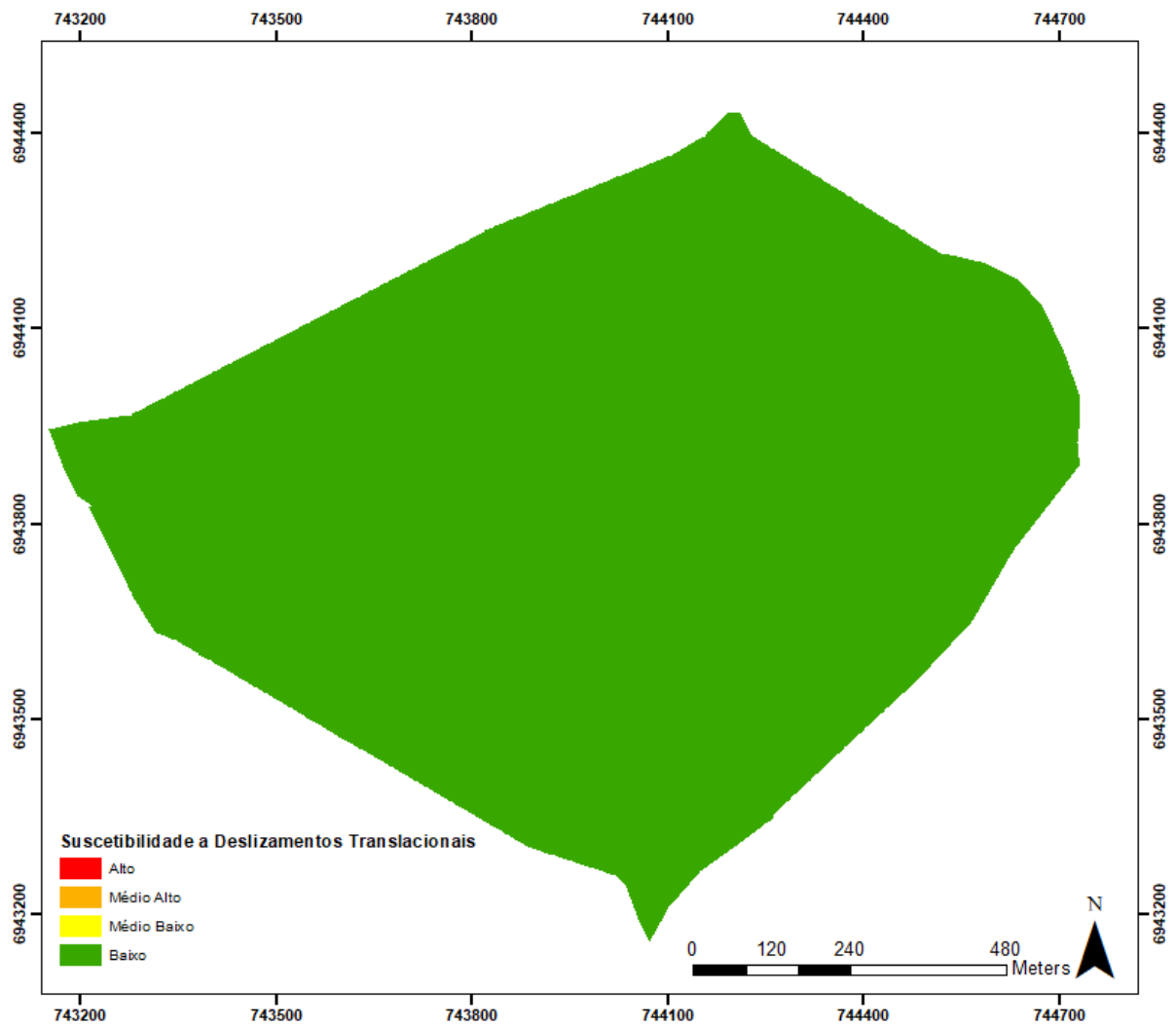
Figura 34 - Mapa de declividades



Fonte: Autor

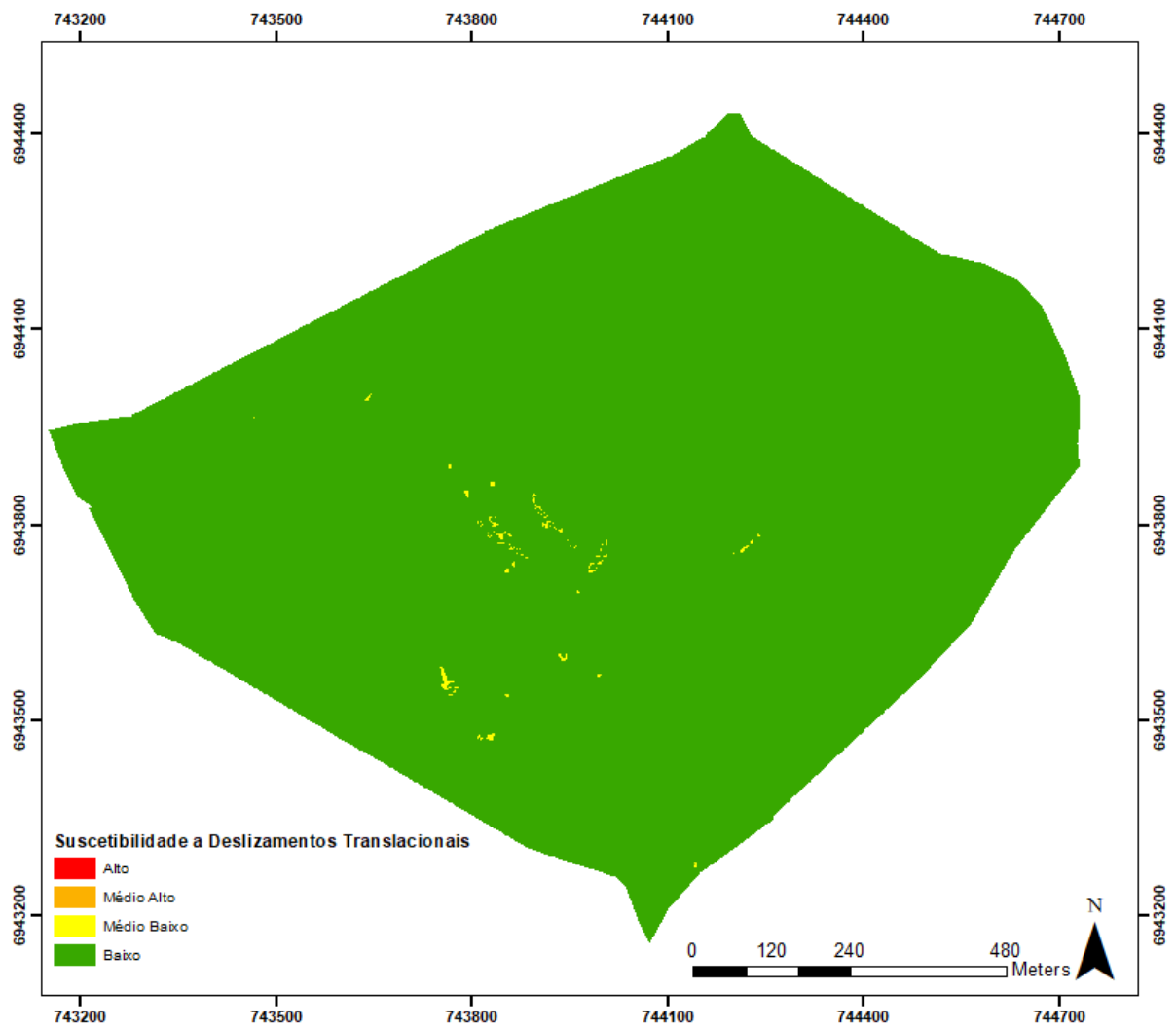
A partir da utilização do *ArcGIS 10.5* foram feitos todos os diferentes cenários para as duas equações escolhidas. Estes cenários serão mostrados nas Figuras a seguir.

Figura 35 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 1m - Sem percolação da água



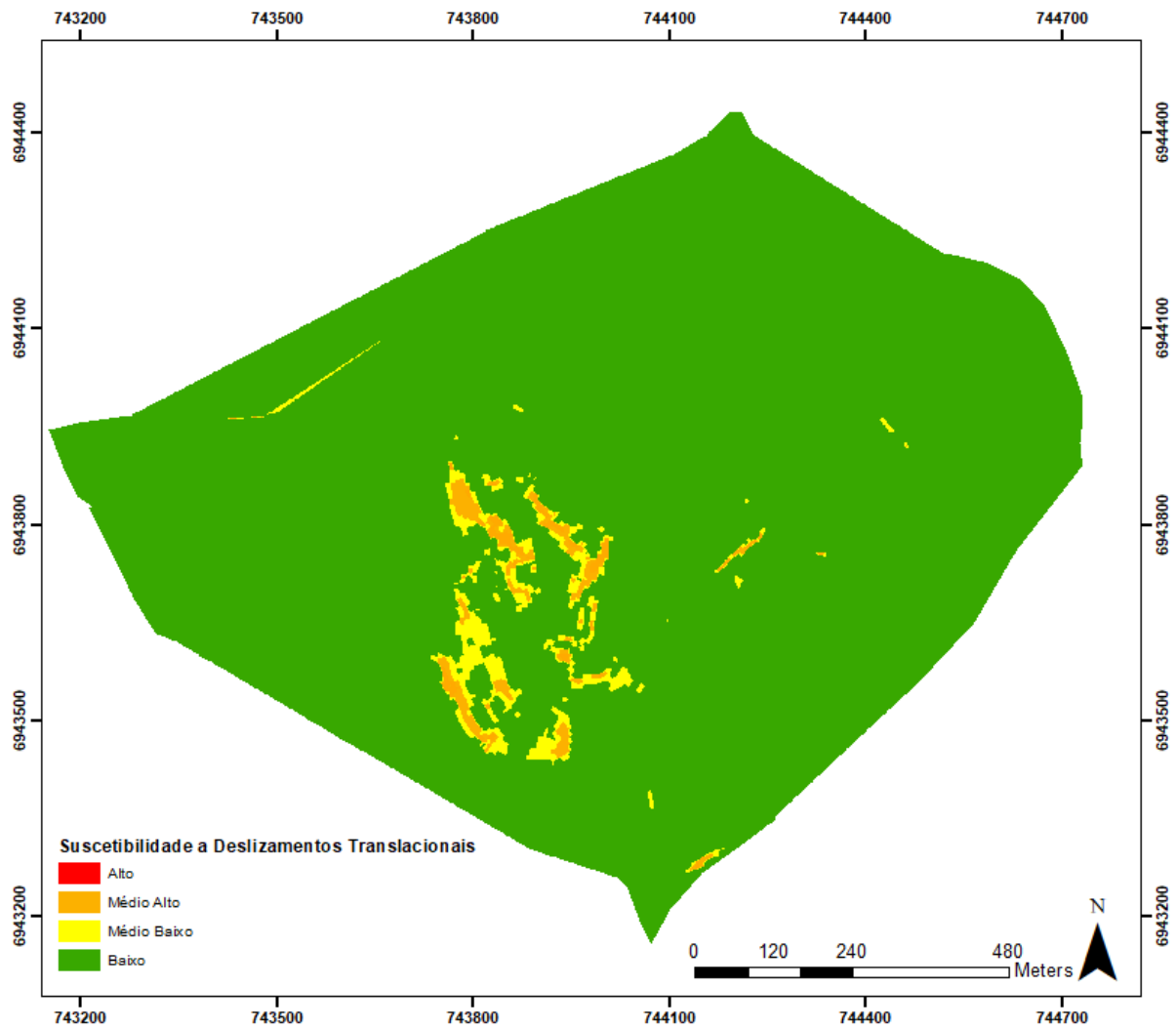
Fonte: Autor (2018)

Figura 36 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 2m - Sem percolação da água



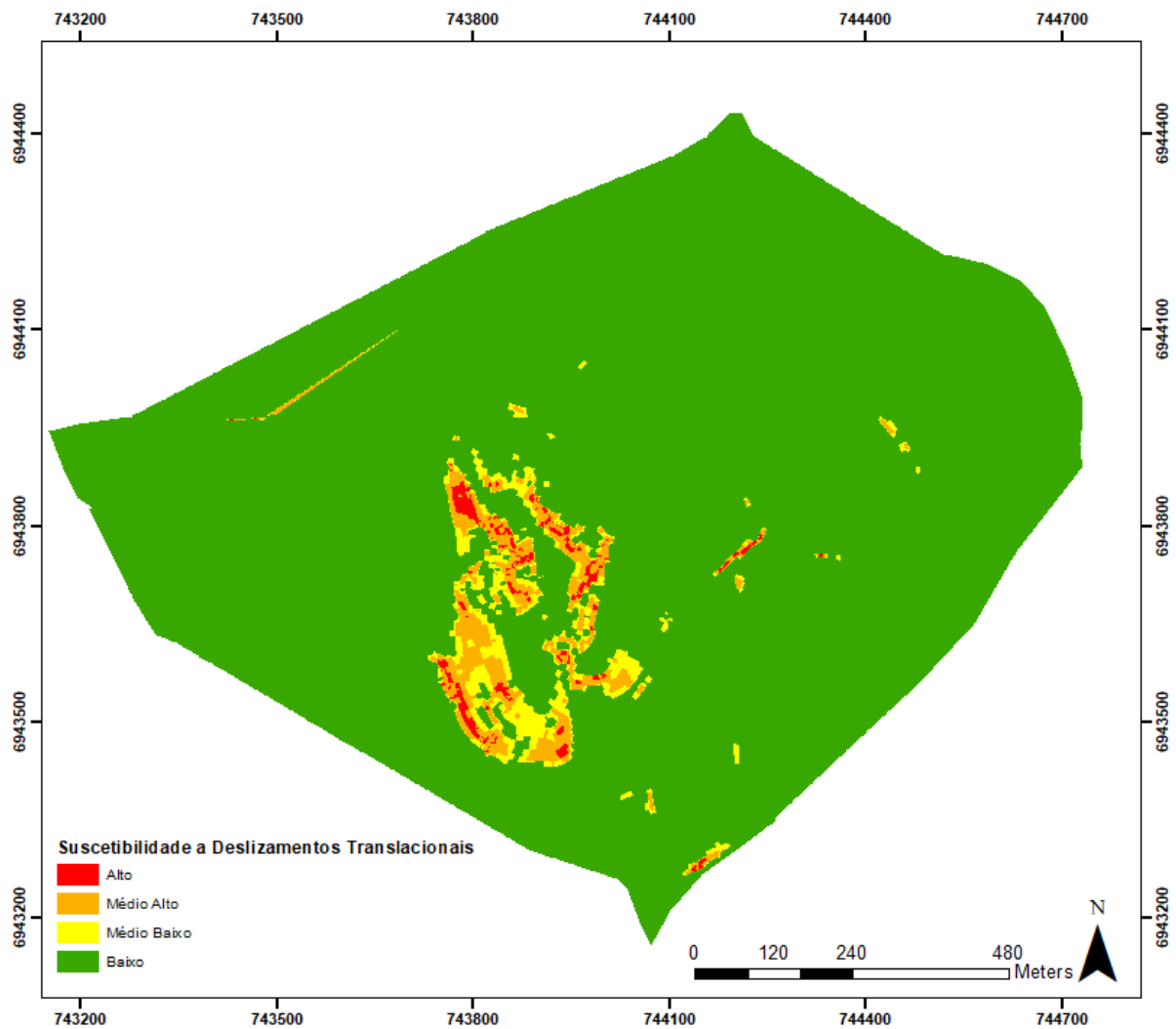
Fonte: Autor (2018)

Figura 37 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 3m - Sem percolação da água



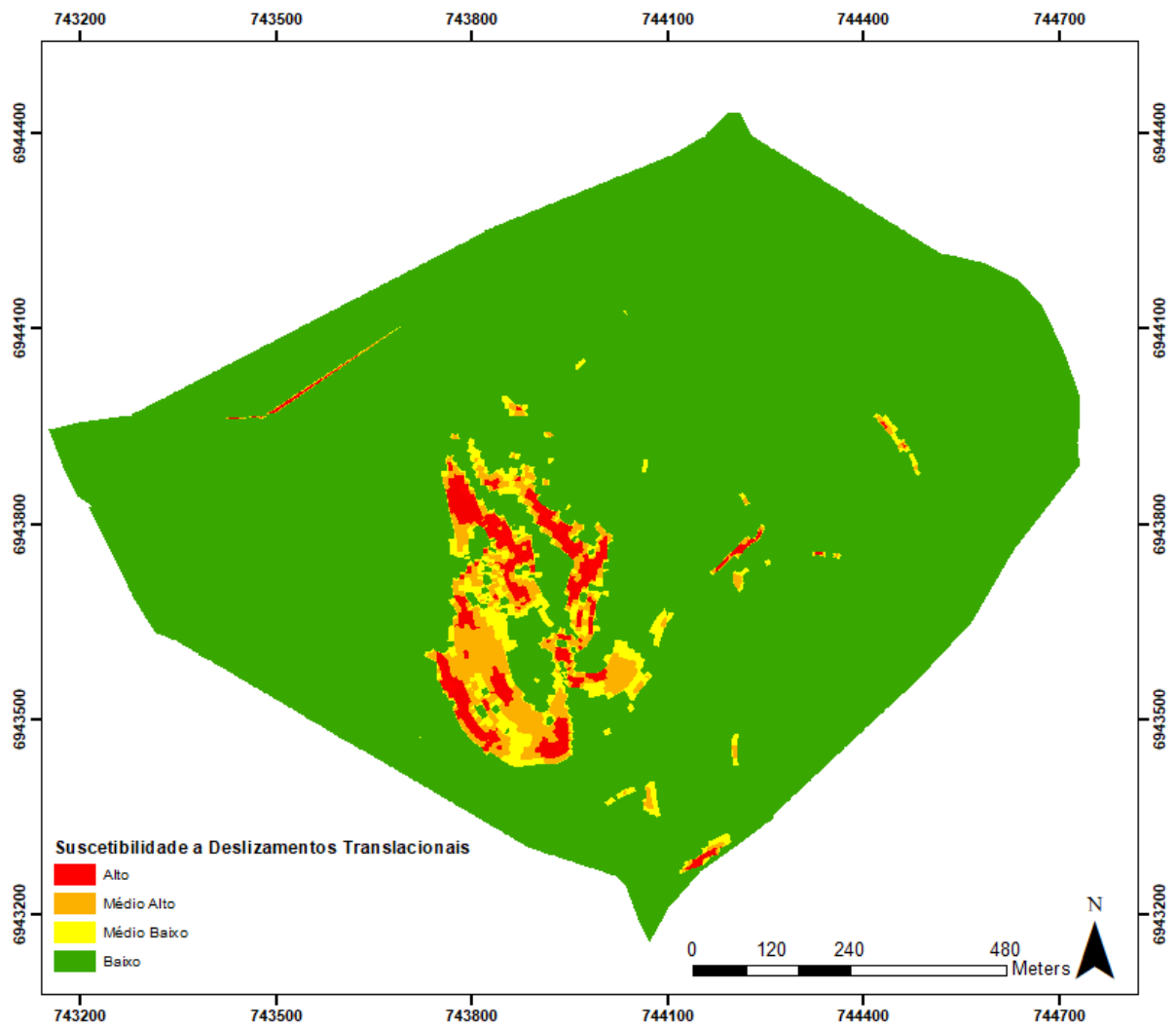
Fonte: Autor (2018)

Figura 38 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 4m - Sem percolação da água



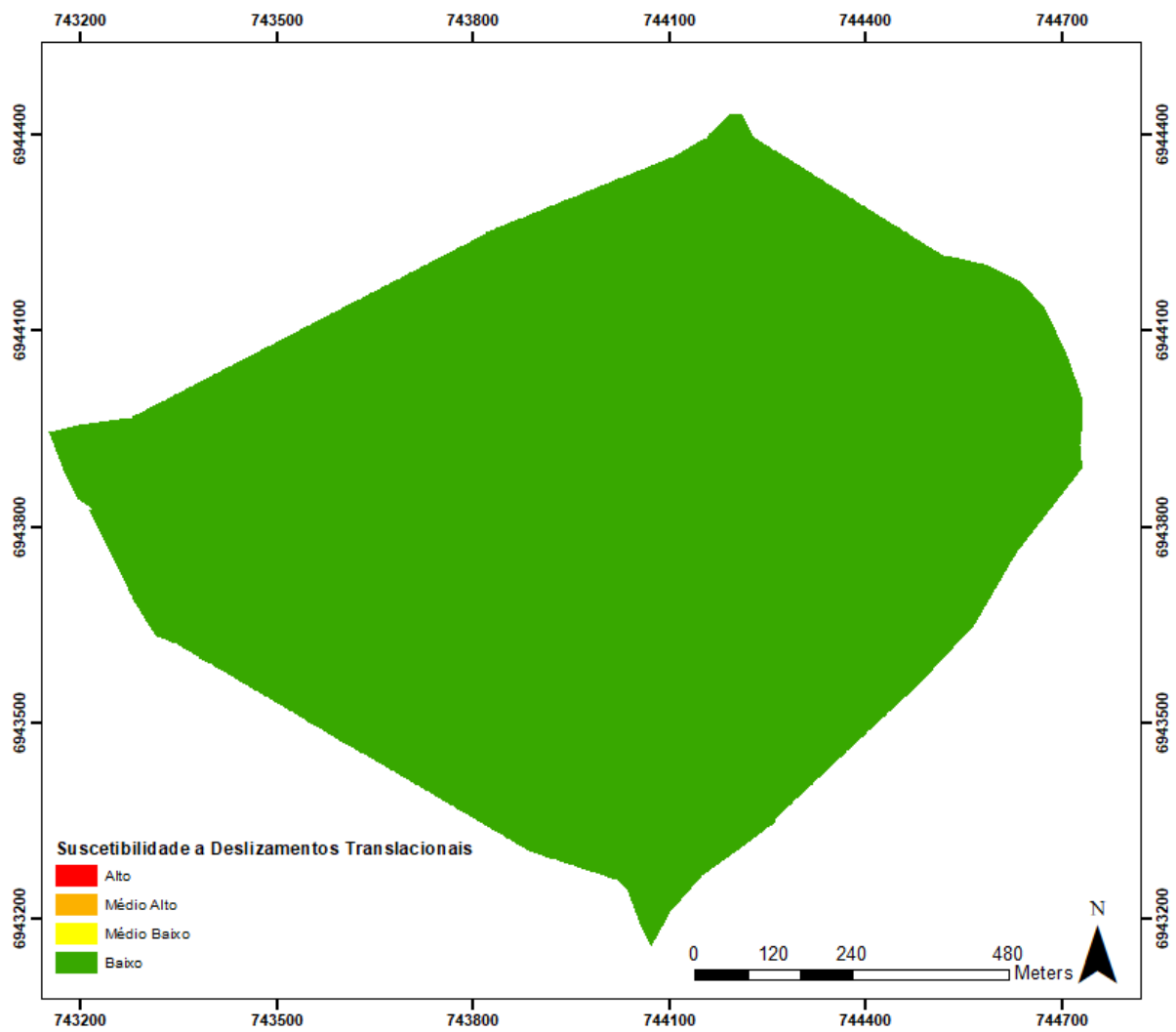
Fonte: Autor (2018)

Figura 39 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 5m - Sem percolação da água



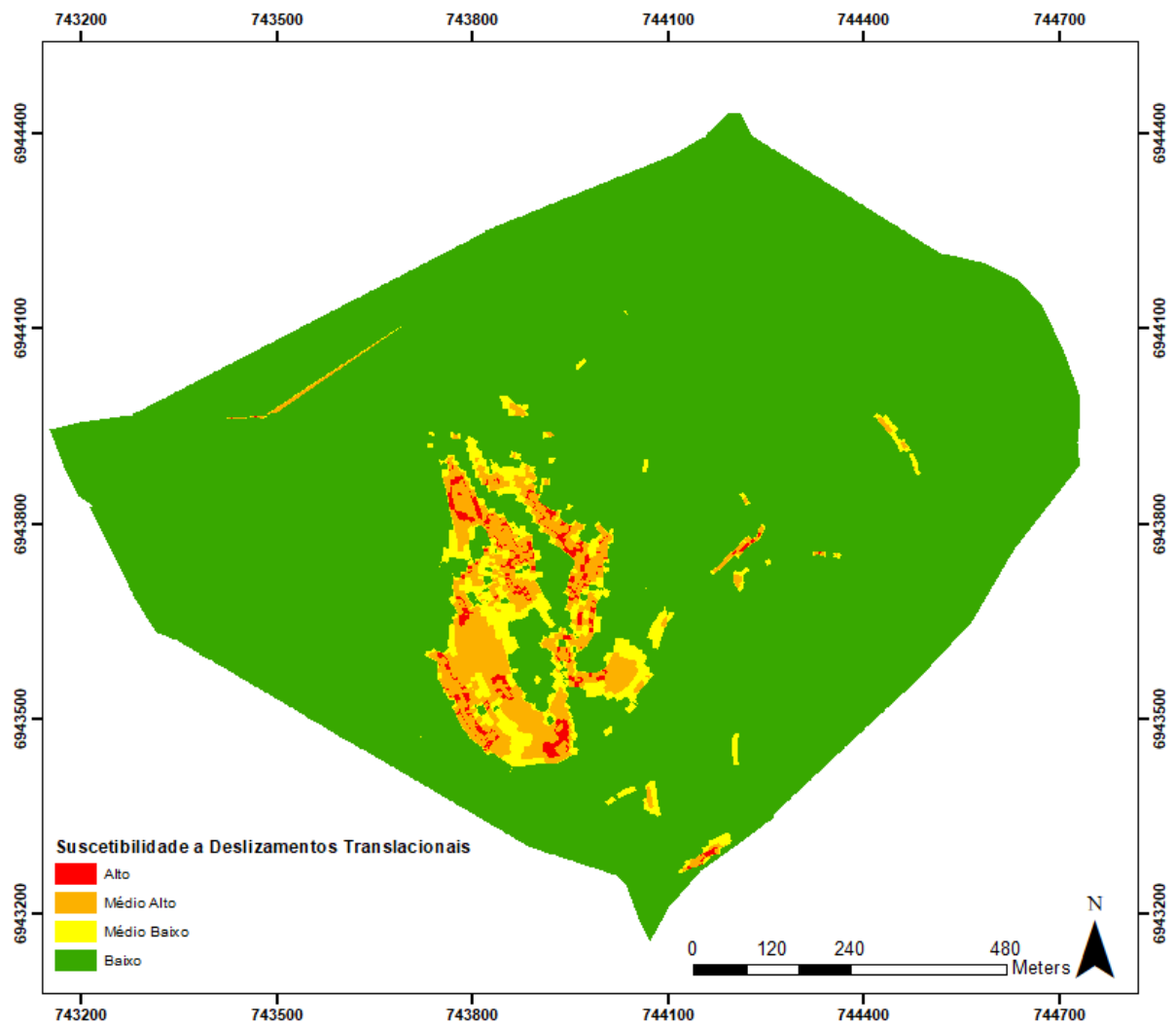
Fonte: Autor (2018)

Figura 40 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 1m - Com percolação da água



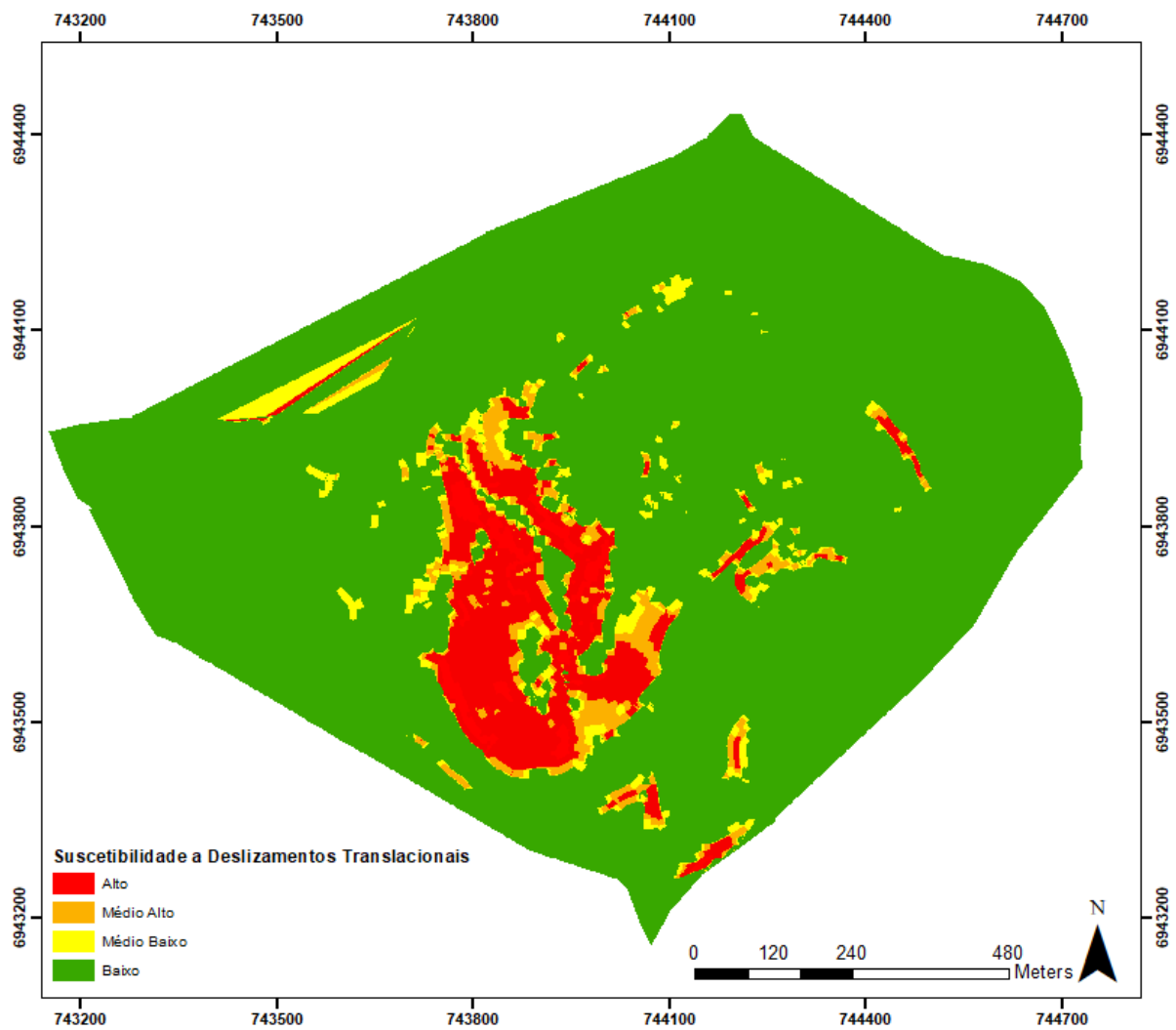
Fonte: Autor (2018)

Figura 41 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 2m - Com percolação da água



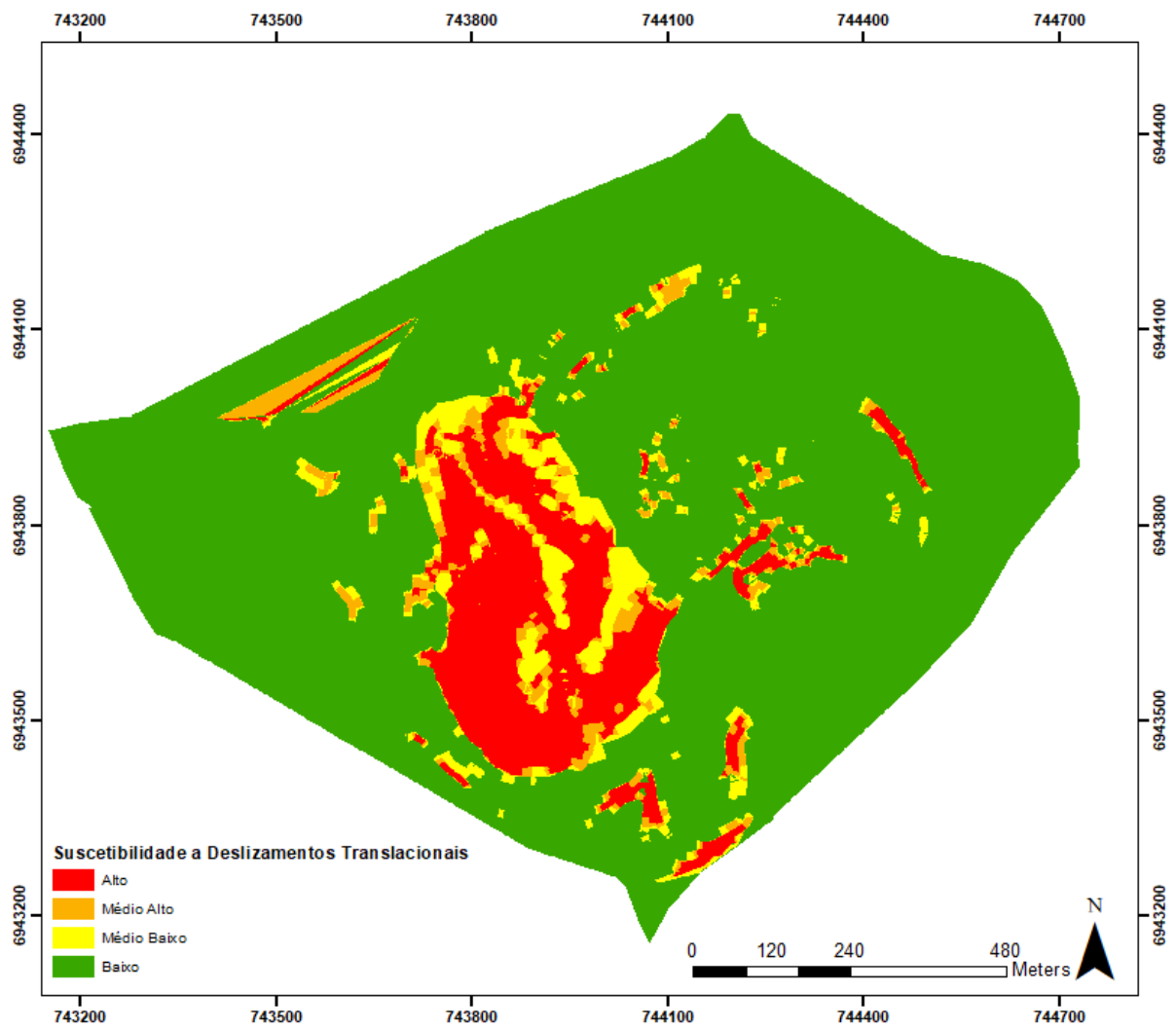
Fonte: Autor (2018)

Figura 42 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 3m - Com percolação da água



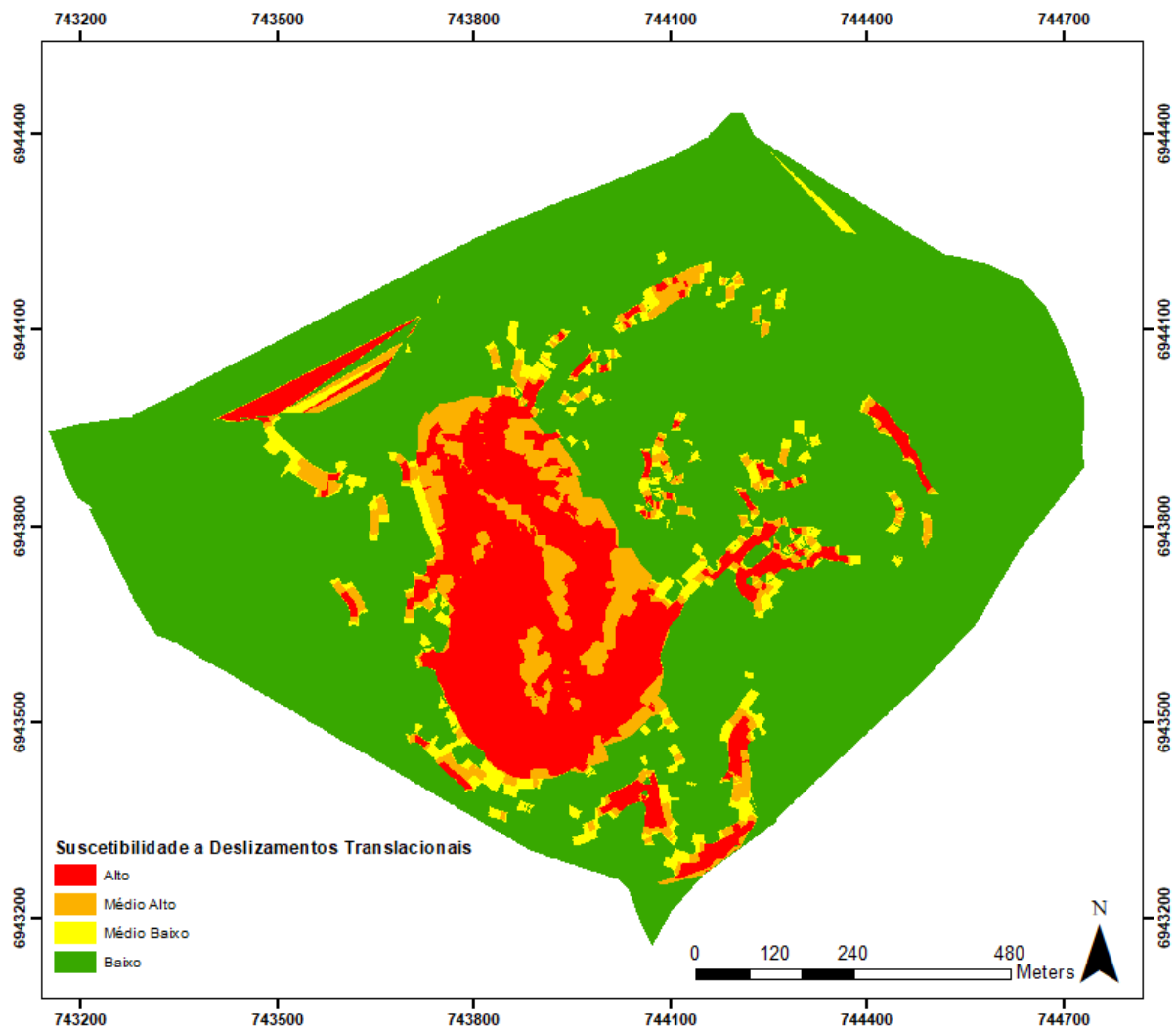
Fonte: Autor (2018)

Figura 43 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 4m - Com percolação da água



Fonte: Autor (2018)

Figura 44 - Mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais - Profundidade 5m - Com percolação da água



Fonte: Autor (2018)

A partir desses mapas foram geradas Tabelas para os dois métodos, mostrando a alteração da instabilidade com o aumento da profundidade de ruptura.

Para o caso sem percolação da água, os resultados são mostrados na Tabela 13.

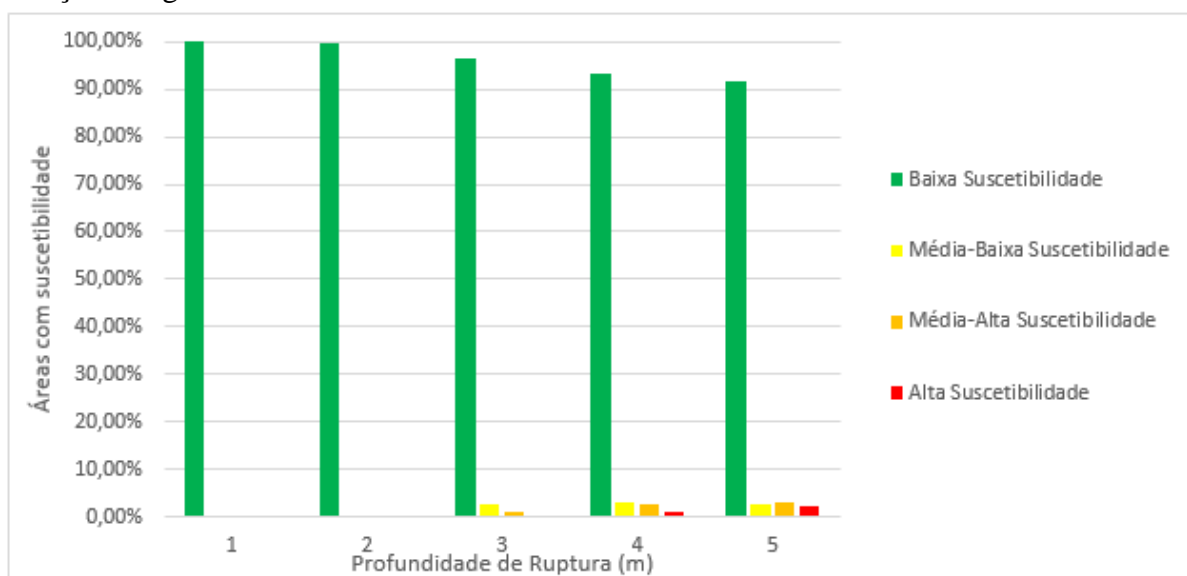
Tabela 13 - Alteração da instabilidade - Sem percolação da água

	Profundidade				
	1m	2m	3m	4m	5m
Verde	100,00%	99,69%	96,28%	93,22%	91,81%
Amarelo	0,00%	0,31%	2,58%	3,06%	2,68%
Laranja	0,00%	0,00%	1,14%	2,72%	3,24%
Vermelho	0,00%	0,00%	0,00%	1,00%	2,27%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Autor (2018)

Com os valores da Tabela 13, foi montado um gráfico de barras, exemplificando o aumento das áreas com suscetibilidade ao movimento de massas (Figura 45).

Figura 45 – Comparação das áreas de suscetibilidade com o aumento da profundidade – Sem percolação da água



Fonte: Autor (2018)

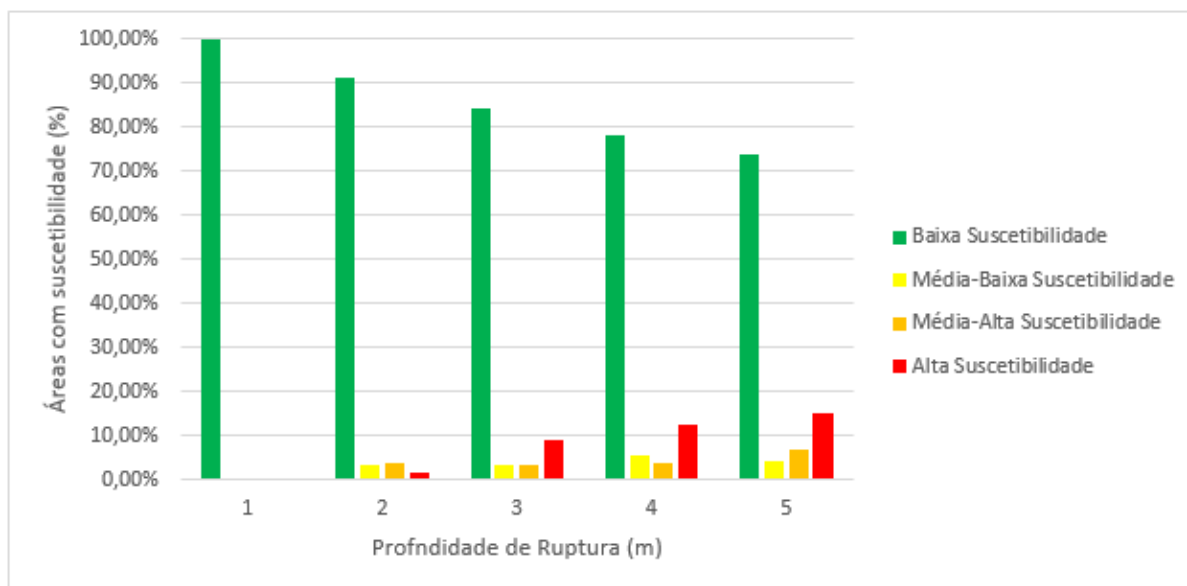
O mesmo foi feito para o caso com percolação da água. Os resultados estão expostos na Tabela 14 e na Figura 46.

Tabela 14 - Alteração da instabilidade - Com percolação da água

	Profundidade				
	1m	2m	3m	4m	5m
Verde	100,00%	91,15%	84,16%	78,05%	73,98%
Amarelo	0,00%	3,40%	3,50%	5,62%	4,06%
Laranja	0,00%	3,72%	3,48%	3,99%	6,99%
Vermelho	0,00%	1,73%	8,84%	12,32%	14,95%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Autor (2018)

Figura 46 - Comparação das áreas de suscetibilidade com o aumento da profundidade – Com percolação da água



Fonte: Autor (2018)

Observando todos os cenários, percebeu-se que a percolação da água influencia muito na suscetibilidade a deslizamentos translacionais. Percebe-se também a concentração das áreas de risco nas unidades de Cambissolo de substrato ilha (Cgi) onde há uma maior declividade e menores valores de coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ).

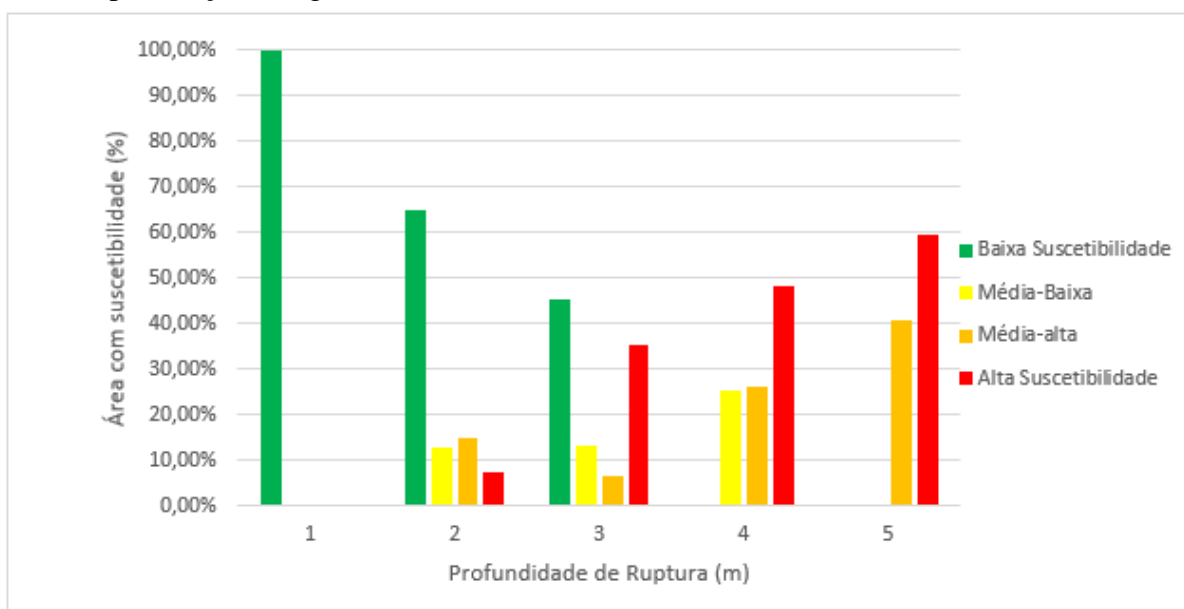
Com isso, montou-se a Tabela 15 comparando o aumento da instabilidade apenas para a unidade Cgi, mostrando que essa foi a unidade mais afetada com o aumento da suscetibilidade.

Tabela 15 - Alteração da instabilidade - unidade Cgi - Com percolação da água

	Profundidade				
	1m	2m	3m	4m	5m
Verde	100,00%	64,70%	45,16%	0,00%	0,00%
Amarelo	0,00%	12,96%	13,11%	25,27%	0,00%
Laranja	0,00%	14,79%	6,45%	26,33%	40,66%
Vermelho	0,00%	7,55%	35,28%	48,40%	59,34%

Fonte: Autor (2018)

Figura 47 - Comparação das áreas de suscetibilidade da unidade Cgi – Com percolação da água



Fonte: Autor (2018)

A Figura 47, quando comparada com a Figura 46, indica que a unidade Cgi é a que contém a maior parte da área suscetível a deslizamentos translacionais.

As áreas com menor risco são as que apresentam relevo menos acentuado. Analisando o mapa geotécnico da região na Figura 29 observa-se que essas áreas são compostas por Glei de substrato sedimentos quaternários (Gsq) e por Areia Quartzosa de substrato sedimentos quaternários (AQsq). O Cambissolo de substrato depósito de encosta (Cde) por se tratar, nessa região, de uma unidade de transição, teve áreas com elevada suscetibilidade e outras bem estáveis como observado nos cenários.

A profundidade dos solos foi outro fator que influenciou na suscetibilidade a deslizamentos translacionais. Notou-se que com o aumento da espessura do solo (profundidade

da superfície de ruptura) houve um grande acréscimo na suscetibilidade a deslizamentos translacionais.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente capítulo apresentará as conclusões obtidas por esse trabalho e também sugestões para trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Os *softwares ArcGIS 10.5* e *Excel 2016* foram fundamentais na realização deste trabalho. Com o *ArcGIS 10.5* foi possível gerar, editar e especializar as equações de estabilidade de taludes infinitos, fazendo com que mapas fossem criados com o intuito de obter os resultados desejados. O *Excel 2016* auxiliou na transformação dos dados obtidos em valores que posteriormente foram adicionados ao *ArcGIS 10.5* para a geração dos cenários de instabilidade, que possibilitaram a análise em diferentes profundidades.

Os ensaios do tipo BST se mostraram de fácil e rápida execução quando comparados a outros métodos de obtenção de parâmetros de resistência dos solos ao cisalhamento, gerando resultados bastante próximos aos resultados alcançados com o ensaio de cisalhamento direto.

O mapeamento das áreas de suscetibilidade da região de estudo foi gerado após a junção dos mapas de suscetibilidade das quatro unidades presentes (Cgi, Cde, Aqsq e Gsq), sendo que duas delas, por se tratarem de áreas planas (Aqsq e Gsq) e, portanto, não apresentarem problemas referentes à estabilidade de encostas, não foram executados os ensaios de BST. Com base nas análises dos mapas, foi possível concluir que a inclinação, os parâmetros de resistência dos solos ao cisalhamento, a profundidade de ruptura e a percolação da água são fatores que influenciam na suscetibilidade a deslizamentos translacionais.

As tradagens executadas em campo, juntamente com os ensaios de BST, mostraram que mesmo para áreas bem próximas, contudo, com declividades diferentes, os parâmetros de resistência podem ser distintos, uma vez que as unidades geotécnicas e o intemperismo não são os mesmos.

O mapa geotécnico e o mapa de suscetibilidade poderão ser usados como ferramenta para a gestão do uso e ocupação do solo pela população, evitando que a ocupação cresça no sentido onde há maiores riscos de deslizamentos.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a coleta de mais amostras e determinação dos parâmetros de resistência em diferentes pontos de uma mesma unidade geotécnica, a fim de obter dados mais precisos acerca de cada unidade.

Executar ensaios de caracterização nas unidades geotécnicas para gerar resultados para a devida área no momento presente, além de justificar e/ou orientar os resultados dos parâmetros de resistência obtidos pelo ensaio de BST.

Executar o mapa geotécnico com as unidades mais detalhadas, evitando sua generalização. Assim, os dados alcançados poderiam ser mais confiáveis e detalhados espacialmente.

Por fim, sugere-se a realização do mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos no restante do município de Florianópolis

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10905: Ensaio de Palheta in Situ**. Rio de Janeiro. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069: Ensaio de Penetração de Cone in Situ**. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682: Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro. 2009.

BASTOS, C. A. B. **Estudo Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, RS. 1999.

BEVILÁQUIA, F. Z. **Estudo do Comportamento Geomecânico dos Solos Residuais de Granito de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, p. 117. 2004.

CEMADEN. **site da cemaden**, 2016. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 10 setembro 2018.

CHRIST, C. E. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da lagoa da conceição**. Dissertação (Tese de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 173. 2014.

CONTESSI, R. J. **Borehole Shear Test: Uma comparação com o cisalhamento direto**. Trabalho de Conclusão de Curso: Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 107. 2016.

DIAS, J. A. MOVIMENTOS DE MASSA Tipos de Movimentações de Massa. **GEOLAMB**, 2006. Disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA4_MovMassa/GA43_tipos/Tipos.html>. Acesso em: 6 nov. 2018.

DUARTE, S. B. **Utilização de sistema de informações geográficas na análise do meio físico e do uso do solo na Lagoa da Conceição**. Dissertação (Tese de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 126. 1999.

EBAH. **ebah**, 2018. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUO8AB/analise-estabilidade-encosta-meio-urbano-juiz-fora-bairro-santa-tereza?part=4#>>. Acesso em: 13 set. 2018.

ESPARZAVILI, C. emaze. **emaze**, 2017. Disponível em: <<https://www.emaze.com/@AQCTOIII/Clase-Estabilidad-de-taludes>>. Acesso em: 26 set. 2018.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 192 p.

GUIDICINE, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 1983. 194 p.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, p. 398. 2006.

HOEK, E.; BRAY, J. **Rock Slope Engineering**. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1974. 309 p.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

LUTENEGGER, A. J.; TIMIAN, D. A. Reproducibility of *Borehole Shear Test* Results in Marine Clay. **Geotechnical Testing Journal**, 1987.

MARANGON, M. **Resistência ao Cisalhamento dos Solos**, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid05-P1.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

MARANGON, M. ufjf. **ufjf**, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

MEIRELLES, M. C. E.; DAVISON DIAS, R. **Estudo da Erodibilidade de Solos Residuais do Complexo Granito-Gnaissico – Município de Santo Amaro da Imperatriz, SC. 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS**. São Carlos, SP, p. 465-470. 2004.

MÉNDEZ, G. A. A. slideshare. **slideshare**, 2013. Disponível em: <https://es.slideshare.net/gonzalo_adolfo/estabilidad-de-taludes-18414429>. Acesso em: 13 set. 2018.

MURK, B. W.; SKINNER, B. J.; PORTER, S. C. **Environmental geology**. Nova Iorque: John, 1996. 535 p.

PINTO, C. D. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

PUC-RIO. **Certificação Digital**. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8888/8888_3.PDF>. Acesso em: 13 set. 2018.

QUEIROZ, R. C. **Geologia e Geotecnia Básica para Engenharia Civil**. São Carlos: RiMa, 2009. 392 p.

RAIMUNDO, H. A.; SANTOS, G. T.; DIAS, R. D. **Aspectos Geotécnicos do Contato Granito/Diabásio Associados à Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. GEOSUL – III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul. Joinville, SC. 2002.

SAKAMOTO, M.Y.; GUESSER, L.H.; CONTESSI, R.J.; HIGASHI, R.A.R. **Use of a Borehole Shear Test method for geotechnical**. In: 12th International Symposium on Landslides. 2016.

SAKAMOTO, M.Y.; GUESSER, L.H.; OLIVEIRA, M.C.G.; CONTESSI, R.J.; ABREU, R.P.; HIGASHI, R.A.R. **Uso do método Borehole Shear Test no mapeamento geotécnico de áreas de risco**. XV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Bento Gonçalves - RS. 2015.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Dissertação (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, p. 231. 1997.

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of Soil Mechanics**. Nova York: John Wiley & Sons, 1948.

TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. **Landslides-investigation and mitigation**. Washinton DC: Academy Press, 1996.

UFBA. Geotecnia UFBA. **Laboratório de Geotecnia**, 2009. Disponível em: <<http://www.geotecnia.ufba.br/?vai=Extens%20e%20Ensaio%20de%20Laborat%20rio/Cisalhamento%20Direto>>. Acesso em: 29 out. 2018.

UFES. **Laboratório de Topografia e Cartografia**, 2008. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/475198-Apostila-de-arccgis-laboratorio-de-topografia-e-cartografia-universidade-federal-do-espirito-santo.html>>. Acesso em: 30 out. 2018.

UFPR. Departamento de Construção Civil, UFPR. **DCC UFPR**, 2017. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e9/No%20C3%A7%C3%B5es_de_resist%C3%A2ncia_ao_cisalhamento.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

UNESP. **UNESP.** Disponível em:
 <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/imagens/riscos/queda1.gif>>. Acesso em: 19 set. 2018.

UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil. **FEC UNICAMP**, 2013. Disponível em:
 <<http://www.fec.unicamp.br/~persio/ic570/rescis.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2018.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 509 p.

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control**. [S.l.]: National Academy of Sciences, 1978.

WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 508 p.